

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



# DIPLOMSKI RAD

**Eugen Filipović**

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Dr. sc. Vladimir Soldo, izv. prof.

Student:

Eugen Filipović

Zagreb, 2016.

*Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.*

*Zahvaljujem se dr.sc. Vladimiru Soldi, izv.prof. koji je prihvatio mentorstvo te mi ustupio potrebne materijale i stručno me vodio kroz Diplomski rad. Također, zahvaljujem se Toniju Grubišiću, dipl.ing.stroj. iz tvrtke Frigo Plus koji mi je stručnim savjetima znatno pomogao u izradi ovog Diplomskog rada.*

*Posebnu zahvalnost iskazujem svojoj obitelji, svim svojim prijateljima i dragim ljudima, koji su mi najljepše godine odrastanja učinili nezaboravnim te bili velika podrška za vrijeme studiranja.*

*I na kraju, najveću zaslugu za ono što sam postigao pripisujem svojim roditeljima, koji su uvijek bili uz mene, bez obzira da li se radilo o teškim ili sretnim trenucima i bez kojih ovaj uspjeh ne bi bio moguć. Hvala vam na beskonačnom strpljenju, razumijevanju i ljubavi.*

*Još jednom, veliko HVALA svima!*

*Eugen Filipović*



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Eugen FILIPOVIĆ**

Mat. br.: 0035189033

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Ispitna mjerna stanica za rashladnike kapljevine**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Testing facility for chillers**

Opis zadatka:

Ispitivanje kapaciteta i ostalih radnih karakteristika rashladnih uređaja i dizalica topline provode ovlašteni laboratoriji. Također, radne karakteristike rashladnih uređaja može ispitivati sam proizvođač na internim ispitnim stanicama. Ovom metodom ispitivanja proizvod dobiva naljepnicu FAT (engl. „Factory Acceptance Test“). Navedeni pristup omogućuje proizvođaču optimiranje komponenti rashladnih uređaja i dizalica topline te je prepoznat na tržištu proizvođača opreme.

U radu je potrebno dimenzionirati mjernu stanicu za ispitivanje radnih karakteristika rashladnika kapljevine sa zrakom hlađenim kondenzatorom i vodom hlađenim kondenzatorom kapaciteta od 50 do 500 kW. Dimenzioniranje uključuje sustav regulacije temperaturnog režima vode koja se hladi tijekom ispitivanja (isparivačka strana), vode koja se grije tijekom ispitivanja (kondenzatorska strana s vodom hlađenim kondenzatorom) i okolišnjeg zraka (sa zrakom hlađenim kondenzatorom).

Mjernu stanicu s akumulacijskim spremnicima potrebno je opremiti mjerilima toplinske energije, mjerilima električne energije, osjetnicima temperature i tlaka te sustavom za prikupljanje i arhiviranje mjerenih podataka.

Rad treba sadržavati:

1. Pregled normi na području ispitivanja rashladnih uređaja i dizalica topline.
2. Dimenzioniranje komponenti ispitne mjerne stanice.
3. Shemu spajanja ispitnog sustava.
4. Dispozicijski crtež ispitne stanice.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

29. rujna 2016.

Rok predaje rada:

1. prosinca 2016.

Predviđeni datumi obrane:

7., 8. i 9. prosinca 2016.

Zadatak zadao:

*V Soldo*

Dr.sc. Vladimir Soldo, izv.prof.

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

*Dr. sc. Tanja Jurčević Lulić*

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	IV
POPIS TABLICA.....	V
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	VI
POPIS OZNAKA .....	VII
SAŽETAK.....	IX
SUMMARY .....	X
1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKE OSNOVE RASHLADNIKA KAPLJEVINE .....	2
3. PREGLED NORME HRN EN 14511:2013 .....	6
3.1. HRN EN 14511-1 – Nazivi i definicije.....	6
3.1.1. Definicije.....	6
3.1.2. Nazivi rashladnih uređaja.....	8
3.2. HRN EN 14511-2 – Uvjeti ispitivanja.....	9
3.2.1. Okolišni uvjeti.....	9
3.2.2. Uvjeti ispitivanja.....	11
3.3. HRN EN 14511-3 – Metode ispitivanja.....	13
3.3.1. Ispitivanje nazivnog kapaciteta.....	13
3.3.1.1. Osnovna načela proračunske metode za određivanje kapaciteta .....	13
3.3.1.2. Uređaji za ispitivanje .....	14
3.3.1.3. Mjerna nesigurnost.....	16
3.3.1.4. Postupak ispitivanja .....	17
3.3.1.5. Izlazni podaci ispitivanja .....	18
3.3.1.6. Određivanje električne snage uređaja u stanju mirovanja .....	21
3.3.1.7. Određivanje električne snage isključenog uređaja.....	21
3.3.1.8. Potrošnja električne energije.....	21
3.3.2. Izvješće o ispitivanju.....	22

3.3.2.1.	Rezultati ispitivanja pri standardnim uvjetima .....	22
3.4.	HRN EN 14511-4 – Zahtjevi .....	24
3.4.1.	Temperaturno područje rada .....	24
3.4.2.	Zaustavljanje protoka medija za prijenos topline .....	27
3.4.3.	Označavanje .....	27
3.4.4.	Tehnički podaci .....	28
3.4.4.1.	Opći opis .....	28
3.4.4.2.	Radne karakteristike .....	28
3.4.4.3.	Dodatne karakteristike .....	28
3.4.4.4.	Električne karakteristike .....	29
3.4.4.5.	Radno područje .....	29
3.4.5.	Upute .....	29
3.4.5.1.	Krug radne tvari, zraka i/ili kapljevine .....	29
3.4.5.2.	Kontrola i sigurnost .....	30
3.4.5.3.	Upute za instalaciju .....	30
3.4.5.4.	Upute za održavanje .....	30
4.	PRINCIP RADA ISPITNE MJERNE STANICE – VERZIJA 1 .....	31
4.1.	Princip rada ispitne stanice pri ispitivanju zrakom hlađenih rashladnika kapljevine .....	32
4.2.	Princip rada ispitne stanice pri ispitivanju vodom hlađenih rashladnika kapljevine .....	33
5.	DIMENZIONIRANJE KOMPONENTI ISPITNE MJERNE STANICE – VERZIJA 1 .....	35
5.1.	Ispitna prostorija .....	35
5.2.	Cjevovodi .....	37
5.2.1.	Cjevovod od akumulacijskog spremnika do isparivača .....	37
5.2.1.1.	Proračun pada tlaka isparivačkog kruga .....	39
5.2.2.	Cjevovod od akumulacijskog spremnika do kondenzatora – vodom hlađeni rasahladnik kapljevine .....	40
5.2.2.1.	Proračun pada tlaka kondenzatorskog kruga .....	41
5.2.3.	Cjevovod od akumulacijskog spremnika do dizalice topline .....	43
5.2.3.1.	Proračun pada tlaka (akumulacijski spremnik vode – dizalica topline) .....	44
5.3.	Cirkulacijske pumpe .....	45
5.3.1.	Cirkulacijska pumpa isparivačkog kruga .....	45
5.3.2.	Cirkulacijska pumpa kondenzatorskog kruga .....	46

5.3.3. Cirkulacijska pumpa u krugu dizalice topline .....	47
5.4. Akumulacijski spremnik vode .....	47
5.5. Dizalica topline zrak - voda .....	49
5.6. Mjerači protoka .....	51
5.7. Troputni miješajući ventili .....	54
5.8. Regulacijske žaluzine.....	56
6. PRINCIP RADA ISPITNE MJERNE STANICE – VERZIJA 2 .....	58
7. DIMENZIONIRANJE KOMPONENTI ISPITNE MJERNE STANICE – VERZIJA 2..	60
7.1. Lamelni izmjenjivači topline s mikrokanalima.....	60
7.2. Ventilatori mikrokanalnih izmjenjivača topline .....	62
7.3. Rashladnik vode .....	63
7.4. Cjevovodi .....	64
7.4.1. Cjevovod od akumulacijskog spremnika do rashladnika vode .....	64
7.4.1.1. Proračun pada tlaka (akumulacijski spremnik vode – rashladnik vode).....	65
7.5. Cirkulacijska pumpa za krug rashladnika vode .....	66
8. ZAKLJUČAK.....	67
LITERATURA.....	68
PRILOZI.....	70

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Shematski prikaz posrednog sustava hlađenja [1] .....	2
Slika 2. Rashladnik kapljevine sa zrakom hlađenim kondenzatorom [4] .....	3
Slika 3. Rashladnik kapljevine s vodom hlađenim kondenzatorom [5] .....	4
Slika 4. Rashladnik vode sa zrakom hlađenim kondenzatorom i rekuperatorom topline [6] ....	5
Slika 5. Shema mjerne stanice pri ispitivanju zrakom hlađenih rashladnika kapljevine .....	32
Slika 6. Shema mjerne stanice pri ispitivanju vodom hlađenih rashladnika kapljevine .....	34
Slika 7. Shema ispitne prostorije.....	36
Slika 8. Pumpa „GRUNDFOS“ TPE 150-100/4 A-F-A-BAQE [16] .....	46
Slika 9. Shema akumulacijskog spremnika vode .....	47
Slika 10. Dizalica topline kao proizvod „Carrier“ 30 RQ [14] .....	50
Slika 11. Radno područje dizalice topline [14]: a) režim grijanja; b) režim hlađenja .....	51
Slika 12. „SIEMENS“ SITRANS F M MAG 3100 P [18] .....	52
Slika 13. „SIEMENS“ SITRANS F M MAG 6000 I [18] .....	53
Slika 14. Način spajanja odabranog senzora protoka i transmitera [18] .....	53
Slika 15. Regulacijski ventil Danfoss VF 3 s ugrađenim aktuatorom AME 685 [21] .....	54
Slika 16. Aluminijska regulacijska žaluzina kao proizvod „Klimaoprema“ ARZ [22] .....	57
Slika 17. Shema načina rada nove izvedbe ispitne stanice .....	58
Slika 18. Detalj prikaza ravne cijevi s više usporednih mikrokanala [24] .....	60
Slika 19. Lamelni izmjenjivač topline s mikrokanalima kao proizvod „Climetal“ [24] .....	61
Slika 20. Ventilator kao proizvod „ZIH-EL-ABEGG“ ZN091-ZIL.GL.V5P1 [26] .....	62



## POPIS TABLICA

Tablica 1. Tipovi najčešćih rashladnih sustava prema mediju za prijenos topline .....	9
Tablica 2. Okolišni uvjeti za rashladne uređaje namijenjene za unutarnju montažu .....	10
Tablica 3. Okolišni uvjeti za rashladne uređaje namijenjene za vanjsku montažu .....	10
Tablica 4. Uvjeti ispitivanja za jedinice zrak – voda u režimu hlađenja.....	11
Tablica 5. Uvjeti ispitivanja za jedinice voda – voda u režimu hlađenja.....	12
Tablica 6. Uvjeti ispitivanja za rashladnike kapljevine s odvojenim kondenzatorom .....	12
Tablica 7. Mjerne nesigurnosti za navedene vrijednosti .....	16
Tablica 8. Dopuštena odstupanja od zadanih vrijednosti .....	17
Tablica 9. Podaci koje je potrebno zabilježiti pri ispitivanju kapaciteta.....	19
Tablica 10. Predložak za izvješće o rezultatima ispitivanja.....	23
Tablica 11. Granični radni uvjeti.....	24
Tablica 12. Vršni pogonski uvjeti .....	25
Tablica 13. Uvjeti za test zaleđivanja.....	26
Tablica 14. Preporučene brzine strujanja vode u cijevima.....	37

## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

- 0035189033 – 001    Shema spajanja ispitnog sustava – zrakom hlađeni rashladnik kapljevine
- 0035189033 – 002    Shema spajanja ispitnog sustava – vodom hlađeni rashladnik kapljevine
- 0035189033 – 003    Dispozicijski crtež ispitne stanice

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$A_{potr}$	$m^2$	Potrebna površina poprečnog presjeka cijevi
$c_p$	$kJ/(kgK)$	Specifični toplinski kapacitet zraka
$c_w$	$kJ/(kgK)$	Specifični toplinski kapacitet vode
$d$	$mm$	Unutarnji promjer cijevi
$d_{potr}$	$mm$	Potrebni unutarnji promjer cijevi
$k$	$mm$	Apsolutna hrapavost cijevi
$L$	$m$	Duljina cjevovoda
$\dot{m}_{dt}$	$kg/s$	Maseni protok vode kroz dizalicu topline
$\dot{m}_{iMAX}$	$kg/s$	Najveći maseni protok vode kroz isparivač
$\dot{m}_{iMIN}$	$kg/s$	Najmanji maseni protok vode kroz isparivač
$\dot{m}_{kMAX}$	$kg/s$	Najveći maseni protok vode kroz kondenzator
$\dot{m}_{kMIN}$	$kg/s$	Najmanji maseni protok vode kroz kondenzator
$Re$	$[-]$	Reynoldsova značajka
$\dot{V}_{dt}$	$m^3/s$	Volumni protok vode kroz dizalicu topline
$\dot{V}_{iMAX}$	$m^3/s$	Najveći volumni protok vode kroz isparivač
$\dot{V}_{iMIN}$	$m^3/s$	Najmanji volumni protok vode kroz isparivač
$\dot{V}_{kMAX}$	$m^3/s$	Najveći volumni protok vode kroz kondenzator
$\dot{V}_{kMIN}$	$m^3/s$	Najmanji volumni protok vode kroz kondenzator
$\dot{V}_{rv}$	$m^3/s$	Volumni protok vode kroz rashladnik vode
$w$	$m/s$	Brzina strujanja vode u cjevovodu
$\Delta p_{dt}$	$Pa$	Pad tlaka u dizalici topline
$\Delta p_{isp}$	$Pa$	Pad tlaka u isparivaču
$\Delta p_{kond}$	$Pa$	Pad tlaka u kondenzatoru
$\Delta p_{rv}$	$Pa$	Pad tlaka u rashladniku vode

$\Delta p_{tr}$	Pa	Pad tlaka uslijed trenja
$\Delta p_{uk}$	Pa	Ukupni pad tlaka
$\varepsilon$	[ - ]	Relativna hrapavost cijevi
$\vartheta_{dt1}$	°C	Ulazna temperatura vode u dizalicu topline
$\vartheta_{dt2}$	°C	Izlazna temperatura vode iz dizalice topline
$\vartheta_{i1}$	°C	Ulazna temperatura vode u isparivač
$\vartheta_{i2}$	°C	Izlazna temperatura vode iz isparivača
$\vartheta_{k1}$	°C	Ulazna temperatura vode u kondenzator
$\vartheta_{k2}$	°C	Izlazna temperatura vode iz kondenzatora
$\vartheta_{ok}$	°C	Temperatura okoliša
$\vartheta_{rv1}$	°C	Ulazna temperatura vode u rashladnik vode
$\vartheta_{rv2}$	°C	Izlazna temperatura vode iz rashladnika vode
$\vartheta_{zr}$	°C	Temperatura zraka na ulazu u kondenzator
$\lambda$	[ - ]	Koeficijent trenja
$\nu$	Pa·s	Kinematička viskoznost
$\rho_w$	kg/m <sup>3</sup>	Gustoća vode
$\rho_{zr}$	kg/m <sup>3</sup>	Gustoća zraka
$\Phi_C$	W	Rashladni kapacitet
$\Phi_{dt}$	W	Ogrjevni kapacitet dizalice topline
$\Phi_{iMAX}$	W	Maksimalni kapacitet isparivača rashladnika kapljevine
$\Phi_{iMIN}$	W	Minimalni kapacitet isparivača rashladnika kapljevine
$\Phi_{kMAX}$	W	Maksimalni kapacitet kondenzatora rashladnika kapljevine
$\Phi_{kMIN}$	W	Minimalni kapacitet kondenzatora rashladnika kapljevine
$\Phi_H$	W	Ogrjevni kapacitet
$\Phi_{rv}$	W	Kapacitet rashladnika vode

## **SAŽETAK**

Ispitivanje kapaciteta i ostalih radnih karakteristika rashladnih uređaja i dizalica topline većinom provode ovlašteni laboratoriji, no ispitivanje rashladnih uređaja također može provoditi i sam proizvođač na vlastitim ispitnim stanicama. U ovim mjernim stanicama provodi se završno ispitivanje uređaja u nazočnosti kupca, koji na temelju rezultata tog ispitivanja prihvaća proizvod. Ovom metodom ispitivanja proizvod dobiva naljepnicu FAT (engl. „Factory Acceptance Test“) kao dokaz o uspješno provedenom testu. Upravo primjeri takvih ispitnih stanica glavna su tema ovog Diplomskog rada. U radu su prema normi HRN EN 14511:2013 dimenzionirane dvije izvedbe mjernih stanica za ispitivanje radnih karakteristika rashladnika kapljevine sa zrakom hlađenim kondenzatorom i vodom hlađenim kondenzatorom kapaciteta od 50 do 500 kW. Dimenzioniranje uključuje sustav regulacije temperaturnog režima vode koja se hladi tijekom ispitivanja (isparivačka strana), vode koja se grije tijekom ispitivanja (kondenzatorska strana kod vodom hlađenih rashladnika kapljevine) i okolišnjeg zraka (kondenzatorska strana kod zrakom hlađenih rashladnika kapljevine). Također, u sklopu ovog rada nacrtana je shema spajanja i regulacije te dispozicijski crtež ispitne stanice koji se nalaze u prilogu.

Ključne riječi: rashladnik vode, dizalica topline, ispitna stanica, tvorničko ispitivanje uređaja

## **SUMMARY**

Performance (e.g. cooling capacity, etc.) of chillers and heat pumps is most commonly tested in accredited laboratories, but the testing may also be conducted by the manufacturer in its own testing facility. Manufacturer's testing stations are used for final assessing of the product's performance in the presence of the buyer who, based on the assessment outcomes, decides whether to buy or refuse the product. After the in-factory testing, the product receives the "FAT" ("Factory Acceptance Test") label as a proof that it has successfully met the testing expectations. Two different types of mentioned in-factory testing laboratory will be the subject of this Master Thesis. Testing stations are designed for assessing the working characteristics of chillers using air or water cooled condensers with capacities of 50-500 kW. Testing facilities for chillers are designed according to the HRN EN 14511:2013 norm. Cold water (evaporator side) and hot water/air (condenser side) regime regulation systems are included in the design. Additionally, regulation and piping scheme as well as disposition drawing are inserted in the appendix.

Key words: chiller, heat pump, testing facility, FAT

## 1. UVOD

Dizalica topline je svaki uređaj koji podiže toplinsku energiju s niže na višu energetska razinu uz privedeni vanjski rad s ciljem korištenja toplinske energije više razine. Primarni cilj je korištenje toplinske energije izmijenjene na visokotemperaturnom izmjenjivaču (kondenzatoru), npr. za grijanje. Nasuprot tome rashladni uređaj koristi toplinsku energiju izmijenjenu na niskotemperaturnom izmjenjivaču (isparivaču). Dakle, svaki rashladni uređaj istovremeno je i dizalica topline, bitno je samo što je primarni cilj, korištenje rashladne ili ogrjevnog energije.

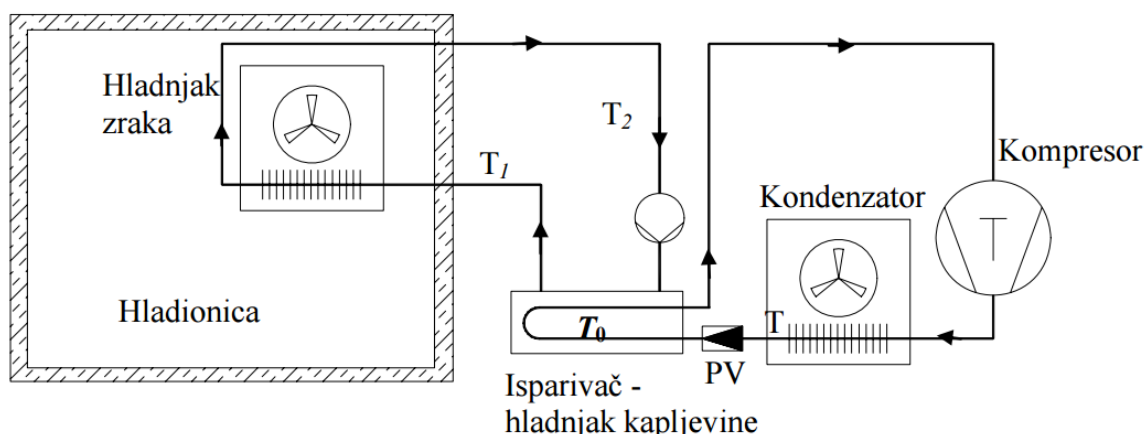
Ispitivanje kapaciteta i ostalih radnih karakteristika rashladnih uređaja i dizalica topline provode ovlaštene laboratorije. Međutim, radne karakteristike rashladnih uređaja također može ispitivati i sam proizvođač na vlastitim ispitnim stanicama. Obzirom da brojni klijenti traže dokaz o radnim karakteristikama uređaja, proizvođači počinju sve više ulagati u interne ispitne stanice. U ovim mjernim stanicama provodi se završno ispitivanje uređaja u nazočnosti kupca, koji na temelju rezultata tog ispitivanja prihvaća ili odbija proizvod. Ovom metodom ispitivanja proizvod dobiva naljepnicu FAT (engl. „Factory Acceptance Test“) kao dokaz o uspješno provedenom testu. Velika prednost tvorničkog ispitivanja proizvoda jest provjera nazivnih kapaciteta i radnih karakteristika rashladnih uređaja i dizalica topline te mogućnost optimiranja njihovih komponenti.

Primjeri takvih ispitnih stanica glavna su tema ovog rada. U radu će biti dimenzionirane dvije izvedbe mjernih stanica za ispitivanje radnih karakteristika rashladnika kapljevine sa zrakom hlađenim kondenzatorom i vodom hlađenim kondenzatorom kapaciteta od 50 do 500 kW. Dimenzioniranje uključuje sustav regulacije temperaturnog režima vode koja se hladi tijekom ispitivanja (isparivačka strana), vode koja se grije tijekom ispitivanja (kondenzatorska strana s vodom hlađenim kondenzatorom) i okolišnjeg zraka (sa zrakom hlađenim kondenzatorom). Pri dimenzioniranju ispitnih stanica korištena je norma HRN EN 14511, koja propisuje metode i uvjete ispitivanja te zahtjeve za sve tipove klimatizacijskih uređaja, rashladnika kapljevina i dizalica topline s kompresorima na električni pogon. Stoga će u radu biti pružen kratak pregled ove norme, kao i teorijske osnove rashladnika kapljevine.

## 2. TEORIJSKE OSNOVE RASHLADNIKA KAPLJEVINE

Općenito, prema načinu prijenosa topline sustave hlađenja dijelimo na:

- posredne sustave hlađenja,
- neposredne sustave hlađenja.



Slika 1. Shematski prikaz posrednog sustava hlađenja [1]

Rashladnici kapljevine (rashladni agregati, „chilleri“) koriste se za posredne sustave hlađenja (Slika1.). Posredni prijenos topline primjenjuje se u posebnim postupcima hlađenja, kada neposredno hlađenje nije izvedivo te kada se traži veća sigurnost u radu rashladnog sustava. Korištenjem posrednog sustava hlađenja nema direktnog isparavanja primarne radne tvari u hladenoj prostoriji koja, ukoliko dođe do propuštanja, može biti opasna za ljude i hladenu robu. Kod posrednih sustava hlađenja, radna tvar nalazi se samo u rashladnom uređaju u strojarnici, dok u razgranatom cjevovodu kroz ventilokonvektore i klima komoru struji praktički bezopasna radna tvar: glikolna smjesa, vodena otopina soli ili voda. Medij za posredni prijenos topline mora biti kapljevina sa što boljim toplinskim svojstvima i s niskom točkom ledišta kako bi se smanjila opasnost od smrzavanja. U praksi se kao sekundarna radna tvar najčešće koristi voda, koja ima konstantnu toplinsku vodljivost, nema korozivno djelovanje te je jeftina i lako dostupna. Nedostatak posrednih sustava je nešto veći utrošak energije za isti rashladni učinak te nešto veći investicijski i pogonski troškovi od neposrednog sustava. Potrebno je sa svih gledišta (investicijskog, pogonskog, ekološkog, održavanje) dobro razmotriti da li je povoljnije koristiti sustav posrednog ili neposrednog hlađenja [2].



U većini slučajeva u rashladniku kapljevine voda se hladi u temperaturnom režimu 12/7°C. Ohlađena voda se pomoću pumpi drži u cirkulaciji kroz ventilokonvektore ili hladnjake zraka koji su smješteni u centralnim jedinicama za pripremu zraka, klima komorama. Osnovna podjela rashladnika kapljevine je prema načinu hlađenja njihovih kondenzatora [3]:

- vodom hlađeni kondenzator
- zrakom hlađeni kondenzator



*Slika 2. Rashladnik kapljevine sa zrakom hlađenim kondenzatorom [4]*

Ako je kondenzator rashladnog agregata hlađen zrakom (Slika 2.), agregat se postavlja u slobodnu okolinu, najčešće na krovove zgrada. Zbog slabog koeficijenta prijelaza topline na strani zraka, kondenzatori srednjih i većih kapaciteta hlađeni su prisilnom cirkulacijom zraka. Ako je kondenzator rashladnog agregata hlađen vodom (Slika 3.), uređaj se instalira u prostor strojarnice zgrade, a rashladni toranj vodom hlađenog kondenzatora nalazi se u slobodnoj okolini. Voda ima znatno veći toplinski kapacitet od zraka, a kad je raspoloživa u prosjeku je niže temperature od zraka, što znači da se kod vodom hlađenih kondenzatora postižu niže temperature kondenzacije, a time i manja potrošnja energije za pogon kompresora. Vodom hlađeni kondenzator može biti u izvedbi pločastog kompaktnog izmjenjivača topline ili s cijevima u plaštu („shell and tube“).

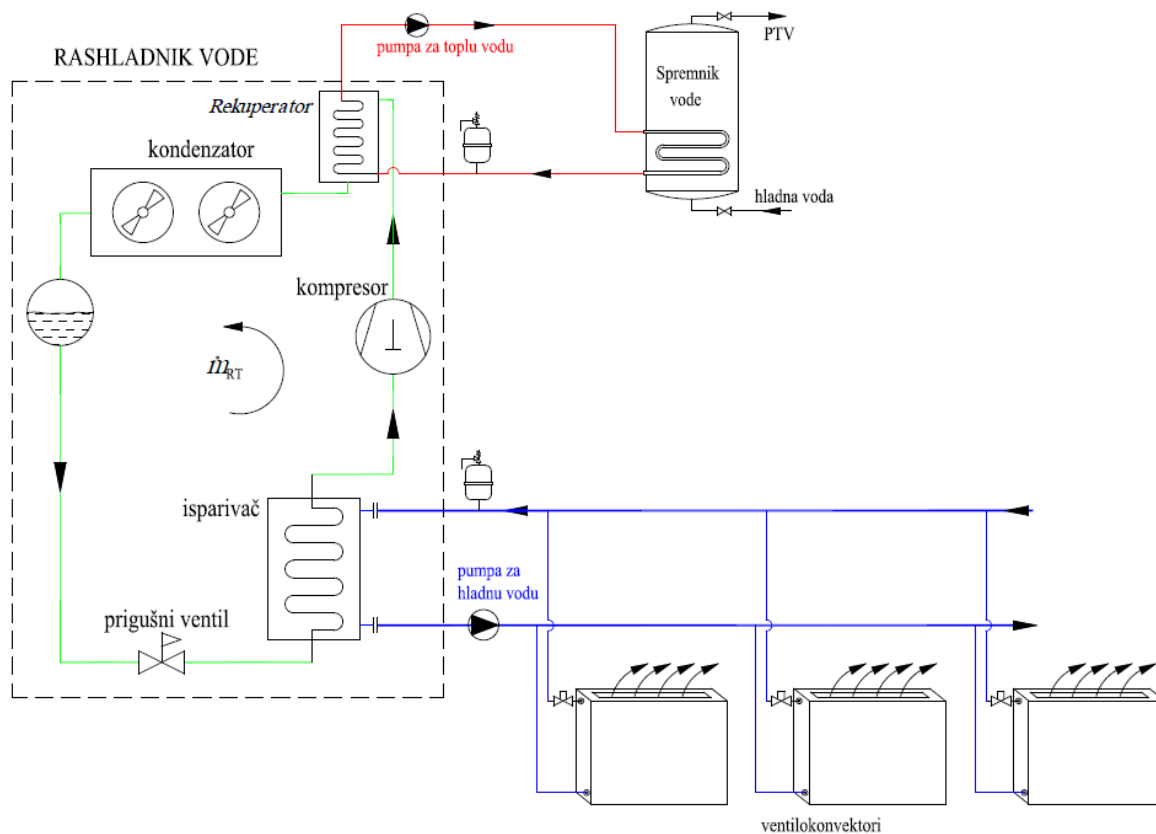


*Slika 3. Rashladnik kapljevine s vodom hlađenim kondenzatorom [5]*

Rashladnici kapljevine također se dijele prema vrsti kompresora na:

- centrifugalne rashladne agregate
- vijčane rashladne agregate
- agregate sa stapnim kompresorima
- rashladnike sa spiralnim kompresorima.

Rashladnici vode rade na principu zatvorenog ljevokretnog procesa što znači da se uz dovođenje rada toplina s hladnijeg tijela predaje na tijelo više temperature. Ta toplina se može i iskoristiti, najčešće za dogrijavanje tople vode, što povećava efikasnost ovakvih uređaja. Na Slici 4. prikazan je primjer rekuperacije topline pregrijanih para radne tvari rashladnika vode sa zrakom hlađenim kondenzatorom. Toplina pregrijanih para radne tvari na izlazu iz kompresora koristi se za zagrijavanje potrošne tople vode. U praksi je sve veći broj jedinica koji djelomično ili u potpunosti koriste toplinu kondenzacije za zagrijavanje potrošne tople vode.



Slika 4. Rashladnik vode sa zrakom hlađenim kondenzatorom i rekuperatorom topline [6]

Rashladnici vode koriste se u različitim industrijskim postrojenjima. Glavnu ulogu imaju u većim klimatizacijskim sustavima za hlađenje zraka, kao što su poslovni objekti, bolnice, ustanove i trgovački centri. Osim u klimatizacijskim sustavima, rashladnici vode vrlo važnu primjenu imaju u medicini, prehrambenoj, farmaceutskoj i kemijskoj industriji.

### 3. PREGLED NORME HRN EN 14511:2013

Pri dimenzioniranju i konstruiranju ispitne stanice za rashladnike kapljevina korištena je norma HRN EN 14511, koja pod nazivom „Klimatizacijski uređaji, rashladnici kapljevina i dizalice topline s kompresorima na električni pogon za grijanje i hlađenje prostora“ [7] obuhvaća četiri dijela:

1. Nazivi i definicije (HRN EN 14511-1)
2. Uvjeti ispitivanja (HRN EN 14511-2)
3. Metode ispitivanja (HRN EN 14511-3)
4. Zahtjevi (HRN EN 14511-4)

#### 3.1. HRN EN 14511-1 – Nazivi i definicije

Prvi dio norme određuje nazive i definicije karakteristika klimatizacijskih uređaja, rashladnika kapljevina i dizalica topline s kompresorima na električni pogon za grijanje i hlađenje prostora. U nastavku poglavlja dan je kratak pregled najvažnijih pojmova i njihovih definicija korištenih pri pisanju ovog rada.

##### 3.1.1. Definicije

**Klimatizacijski uređaj** – uređaj namijenjen za hlađenje ili grijanje zraka korištenjem kružnog parnog procesa s kompresorom na električni pogon, uključujući pritom klimatizacijske sustave koji imaju dodatne funkcije kao što su odvlaživanje, pročišćavanje zraka, ventilacija ili dodatno zagrijavanje zraka pomoću električnog grijača.

**Dizalica topline** – svaki uređaj koji podiže toplinsku energiju s niže na višu energetske razinu (temperaturu) uz privedeni vanjski rad s ciljem korištenja toplinske energije više razine.

**Rashladnik kapljevina** – uređaj konstruiran za hlađenje kapljevina, koji se sastoji od isparivača, kompresora, kondenzatora i odgovarajućih regulacijskih elemenata.

**Unutarnji izmjenjivač topline** – izmjenjivač topline koji prenosi toplinu između radne tvari i unutarnjeg prijenosnika topline (u slučaju klimatizacijskog uređaja, koji radi u režimu hlađenja, radi se o isparivaču, dok u slučaju klimatizacijskog uređaja, koji radi u režimu grijanja, radi se o kondenzatoru).

**Vanjski izmjenjivač topline** – izmjenjivač topline koji prenosi toplinu između radne tvari i vanjskog prijenosnika topline (u slučaju klimatizacijskog uređaja, koji radi u režimu hlađenja, radi se o kondenzatoru, dok u slučaju klimatizacijskog uređaja, koji radi u režimu grijanja, radi se o isparivaču).

**Medij za prijenos topline** – medij (voda, zrak...) koji se koristi za prijenos topline bez promjene agregatnog stanja (npr. hlađena kapljevina u isparivaču, rashladni medij u kondenzatoru...).

**Uvjeti ispitivanja** – uvjeti predviđeni za određivanje kapaciteta i radnih karakteristika sustava (*COP*, *EER*, ulazna snaga, kapacitet hlađenja i grijanja).

**Standardni uvjeti ispitivanja** – standardizirani uvjeti ispitivanja predviđeni za određivanje nazivnog kapaciteta hlađenja i grijanja, razine zvučne snage, nazivnog protoka zraka (i/ili vode), nazivnog toplinskog množitelja ( $COP_{\text{rated}}$ ) i nazivnog faktora hlađenja ( $EER_{\text{rated}}$ ).

**Rashladni kapacitet  $\Phi_C$  [W]** – toplina preuzeta na isparivaču od hlađenog medija u jedinici vremena.

**Ogrjevni kapacitet  $\Phi_H$  [W]** – toplina koju radna tvar u kondenzatoru predaje mediju za odvođenje topline u jedinici vremena.

**Nazivni kapacitet  $\Phi_{\text{rated}}$**  – rashladni ili ogrjevni kapacitet kompresorskog rashladnog sustava pri standardnim uvjetima ispitivanja.

**Ukupna ulazna snaga**  $P_T$  [W] – ulazna snaga svih komponenti sustava (kompresor, sustav za odmrzavanje, regulacijski i sigurnosni uređaji, transportni uređaji poput pumpi i ventilatora).

**Efektivna ulazna snaga**  $P_E$  [W] – prosječna ulazna snaga sustava unutar definiranog vremenskog intervala.

**Nazivna ulazna snaga**  $P_{EER}$ ,  $P_{COP}$  – ulazna snaga kompresorskog kružnog procesa pri standardnim uvjetima ispitivanja.

**Faktor hlađenja**  $EER$  – omjer ukupnog rashladnog kapaciteta ( $\Phi_C$ ) i efektivne ulazne snage sustava ( $P_E$ ).

**Nazivni faktor hlađenja**  $EER_{rated}$  – omjer nazivnog rashladnog kapaciteta i ulazne snage u režimu hlađenja pri standardnim uvjetima ispitivanja.

**Toplinski množitelj**  $COP$  – omjer ogrjevnog kapaciteta ( $\Phi_H$ ) i efektivne ulazne snage sustava ( $P_E$ ).

**Nazivni toplinski množitelj**  $COP_{rated}$  – omjer nazivnog ogrjevnog kapaciteta i ulazne snage u režimu grijanja pri standardnim uvjetima ispitivanja.

**Standardni uvjeti zraka** – temperatura: 20°C, tlak: 1,01325 bar, gustoća: 1,204 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.1.2. Nazivi rashladnih uređaja

Rashladnim uređajima daju se nazivi tako da se prvo navodi medij za prijenos topline na vanjskom izmjenjivaču topline, a zatim medij za prijenos topline na unutarnjem izmjenjivaču topline (Tablica 1.).

Tablica 1. Tipovi najčešćih rashladnih sustava prema mediju za prijenos topline

Medij za prijenos topline		Klasifikacija
Vanjski izmjenjivač topline	Unutarnji izmjenjivač topline	
Zrak	Zrak	Dizalica topline zrak-zrak ili zrakom hlađen klimatizacijski uređaj
Voda	Zrak	Dizalica topline voda-zrak ili vodom hlađen klimatizacijski uređaj
Zrak	Voda	Dizalica topline zrak-voda ili zrakom hlađeni rashladnik kapljevine
Voda	Voda	Dizalica topline voda-voda ili vodom hlađeni rashladnik kapljevine

### 3.2. HRN EN 14511-2 – Uvjeti ispitivanja

Drugi dio norme određuje uvjete ispitivanja za klimatizacijske uređaje, rashladnike kapljevina i dizalice topline s kompresorima na električni pogon.

#### 3.2.1. Okolišni uvjeti

Ispitivanje bi se trebalo provoditi u okolišnim uvjetima specificiranim u Tablici 2. i Tablici 3., ovisno o lokaciji rashladnog uređaja.

Tablica 2. Okolišni uvjeti za rashladne uređaje namijenjene za unutarnju montažu

Tip rashladnog uređaja	Mjerene veličine	Uvjeti
Voda-voda	Temperatura suhog termometra	15 °C – 30 °C
Zrak-voda s kanalnim spojem na ulaznoj i izlaznoj strani zraka	Temperatura suhog termometra	15 °C – 30 °C
Zrak-voda bez kanalnog spoja na ulaznoj strani zraka	Temperatura suhog i vlažnog termometra	15 °C – 30 °C
Voda-zrak s kanalnim spojem na ulaznoj i izlaznoj strani zraka	Temperatura suhog termometra	15 °C – 30 °C
Voda-zrak bez kanalnog spoja na ulaznoj i izlaznoj strani zraka	Temperatura suhog i vlažnog termometra	Ulazna temperatura (pogledati Tablice 5. i 6. norme HRN EN 14511-2)
Zrak-zrak s kanalnim spojem na ulaznoj i izlaznoj strani zraka vanjskog izmjenjivača topline	Temperatura suhog termometra	15 °C – 30 °C
Zrak-zrak bez kanalnog spoja na ulaznoj i izlaznoj strani zraka vanjskog izmjenjivača topline	Temperatura suhog i vlažnog termometra	Ulazna temperatura (pogledati Tablice 3. i 4. norme HRN EN 14511-2)

Tablica 3. Okolišni uvjeti za rashladne uređaje namijenjene za vanjsku montažu

Tip rashladnog uređaja	Mjerene veličine	Uvjeti
Zrak-voda	Temperatura suhog i vlažnog termometra	Ulazna temperatura (pogledati Tablice 12., 15. i 16. norme HRN EN 14511-2)
Voda-zrak bez kanalnog spoja na ulaznoj strani zraka	Temperatura suhog i vlažnog termometra	Ulazna temperatura (pogledati Tablice 5. i 6. norme HRN EN 14511-2)
Voda-voda, režim hlađenja	Temperatura suhog termometra	15 °C – 30 °C
Voda-voda, režim grijanja	Temperatura suhog termometra	0 °C – 7 °C
Zrak-zrak s kanalnim spojem na ulaznoj i izlaznoj strani zraka vanjskog izmjenjivača topline	Temperatura suhog i vlažnog termometra	Ulazna temperatura (pogledati Tablice 3. i 4. norme HRN EN 14511-2)



### 3.2.2. Uvjeti ispitivanja

U točki 4.2 norme HRN 14511-2 nalaze se standardni uvjeti ispitivanja za sve tipove rashladnih sustava i dizalica topline (zrak-zrak, zrak-voda, voda-zrak, voda-voda...). Obzirom da se u ovom radu istražuju ispitivanja radnih karakteristika rashladnika kapljevine sa zrakom hlađenim kondenzatorom i vodom hlađenim kondenzatorom, u nastavku su u Tablicama 4., 5. i 6. prikazani uvjeti ispitivanja upravo za ova dva tipa rashladnih uređaja.

Tablica 4. Uvjeti ispitivanja za jedinice zrak – voda u režimu hlađenja

		Vanjski izmjenjivač topline (kondenzator)	Unutarnji izmjenjivač topline (isparivač)	
		Ulazna temperatura zraka (suhi termometar) °C	Ulazna temperatura vode °C	Izlazna temperatura vode °C
Standardni uvjeti ispitivanja	Dizalica topline voda – voda, rashladnik kapljevine	35	12	7
	Dizalica topline voda – voda za niskotemperaturno grijanje	35	23	18
Pogonski uvjeti ispitivanja	Dizalica topline voda – voda, rashladnik kapljevine	27	a	7
	Dizalica topline voda – voda za niskotemperaturno grijanje	27	a	18
	Dizalica topline voda – voda, rashladnik kapljevine	46	a	7
a - ispitivanje se provodi s protokom korištenim za vrijeme ispitivanja u odgovarajućim standardnim uvjetima				

Tablica 5. Uvjeti ispitivanja za jedinice voda – voda u režimu hlađenja

		Vanjski izmjenjivač topline (kondenzator)		Unutarnji izmjenjivač topline (isparivač)	
		Ulazna temperatura vode °C	Izlazna temperatura vode °C	Ulazna temperatura vode °C	Izlazna temperatura vode °C
Standardni uvjeti ispitivanja	Dizalica topline voda – voda, rashladnik kapljevine	30	35	12	7
	Dizalica topline voda - voda koja se primjenjuje kod niskotemperaturnog grijanja	30	35	23	18

Tablica 6. Uvjeti ispitivanja za rashladnike kapljevine s odvojenim kondenzatorom

		Unutarnji izmjenjivač topline (isparivač)		Radne tvar	
		Ulazna temperatura vode °C	Izlazna temperatura vode °C	Temperatura suhozasićene pare °C	Temperatura kapljevite radne tvari °C
Standardni uvjeti ispitivanja	Rashladnik kapljevine	12	7	45	40
Pogonski uvjeti ispitivanja	Rashladnik kapljevine	b	7	35	30
a - temperatura suhozasićene pare određuje se prema tlaku izmjerenoj na izlazu iz kompresora					
b - ispitivanje se provodi s protokom korištenim za vrijeme ispitivanja u odgovarajućim standardnim uvjetima					

### 3.3. HRN EN 14511-3 – Metode ispitivanja

U trećem dijelu norme propisane su metode ispitivanja za određivanje kapaciteta i radnih karakteristika klimatizacijskih uređaja, rashladnika kapljevine i dizalica topline s kompresorima na električni pogon.

#### 3.3.1. Ispitivanje nazivnog kapaciteta

##### 3.3.1.1. Osnovna načela proračunske metode za određivanje kapaciteta

#### OGRJEVNI KAPACITET

Ogrjevni kapacitet klimatizacijskih uređaja i dizalica topline voda-zrak ili zrak-zrak određuje se mjerenjima u kalorimetarskoj sobi (Prilog A, HRN EN 14511-3) ili metodom entalpije zraka (Prilog B, HRN EN 14511-3). Međutim, ogrjevni kapacitet klimatizacijskih uređaja i dizalica topline zrak-zrak koje imaju kapacitet hlađenja jednak ili manji od 12 kW određuje se isključivo mjerenjima u kalorimetarskoj sobi. Ogrjevni učinak dizalica topline zrak-voda i voda-voda određuje se direktnom metodom. Na izmjenjivaču topline s kapljevinom (voda, glikol...) izmjeri se volumni protok, ulazna i izlazna temperatura kapljevine, te se uz poznavanje specifičnog toplinskog kapaciteta i gustoće medija za prijenos topline izračuna ogrjevni učinak.

U stacionarnom stanju rada, ogrjevni učinak određuje se korištenjem sljedeće jednadžbe:

$$\Phi_H = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta\vartheta \quad (1)$$

gdje je

$\Phi_H$  - ogrjevni kapacitet, [W]

$\dot{V}$  - volumni protok, [m<sup>3</sup>/s]

$c_p$  - specifični toplinski kapacitet, [J/(kgK)]

$\Delta\vartheta$  - temperaturna razlika izlazne i ulazne temperature, [K]

Ogrjevni kapacitet mora se korigirati s obzirom na toplinu preuzetu od ventilatora ili pumpe.

## RASHLADNI KAPACITET

Rashladni kapacitet klimatizacijskih uređaja i dizalica topline voda-zrak ili zrak-zrak određuje se mjerenjima u kalorimetroj sobi (Prilog A, HRN EN 14511-3) ili metodom entalpije zraka (Prilog B, HRN EN 14511-3). Međutim, rashladni kapacitet klimatizacijskih uređaja i dizalica topline zrak-zrak koje imaju kapacitet hlađenja jednak ili manji od 12 kW određuje se isključivo mjerenjima u kalorimetroj sobi. Rashladni učinak dizalica topline zrak-voda i voda-voda, te rashladnika kapljevine određuje se isključivo direktnom metodom. Na izmjenjivaču topline s kapljevinom (voda, glikol...) izmjeri se volumni protok, ulazna i izlazna temperatura kapljevine, te se uz poznavanje specifičnog toplinskog kapaciteta i gustoće medija za prijenos topline izračuna rashladni učinak.

Kapacitet hlađenja računa se korištenjem sljedeće jednadžbe:

$$\Phi_c = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta\vartheta \quad (2)$$

gdje je

$\Phi_c$  - rashladni kapacitet, [W]

$\dot{V}$  - volumni protok, [m<sup>3</sup>/s]

$c_p$  - specifični toplinski kapacitet, [J/(kgK)]

$\Delta\vartheta$  - temperaturna razlika izlazne i ulazne temperature, [K]

Rashladni kapacitet mora se korigirati s obzirom na toplinu preuzetu od ventilatora ili pumpe.

### 3.3.1.2. Uređaji za ispitivanje

Uređaji za ispitivanje moraju biti konstruirani tako da mogu biti ispunjeni sljedeći zahtjevi: podešavanje zadanih vrijednosti, kriterij stabilnosti i mjerna nesigurnost prema ovoj normi.

## ISPITNA PROSTORIJA ZA ZRAČNU STRANU

Veličina prostorije za ispitivanje mora se odabrati tako da se izbjegnu bilo kakvi otpori strujanju zraka na ulaznim i izlaznim otvorima ispitnog objekta. Strujanje zraka kroz sobu ne smije biti takvo da se omogući miješanje ulaznog s izlaznim zrakom ispitnog objekta. Također, brzina zraka u prostoriji ne smije biti veća od srednje brzine zraka na ulaznom otvoru uređaja. Ako nije navedeno drugačije od strane proizvođača, ulazni i izlazni otvor zraka ne smiju biti udaljeni manje od 1 m od površina ispitne prostorije. Bilo kakvo direktno toplinsko zračenje na ispitni objekt ili mjerne uređaje u ispitnoj prostoriji mora se izbjeći. Kod jedinica namijenjenih za kanalnu izvedbu moraju se osigurati dovoljno hermetični spojevi kako izmjena zraka s okolišem ne bi značajno utjecala na rezultate ispitivanja.

## INSTALACIJA I SPAJANJE ISPITNOG OBJEKTA

Ispitni objekt mora biti instaliran i spojen za ispitivanje kao što je preporučeno od strane proizvođača u priručniku za instalaciju i rukovanje. Opcije, kao što su dodatni grijači, nisu uključene u ispitivanje. Ako postoji dodatni grijač kao opcija, on mora biti isključen za vrijeme ispitivanja. Za jednokanalne sustave, izlazni kanal mora biti što kraći i ravan koliko je to moguće kako bi se zadovoljio uvjet za ispravan usis zraka, a to je da udaljenost između uređaja i zida mora biti veća od 50 cm. Za dvokanalne sustave vrijede isti zahtjevi na oba usisna i tlačna kanala, osim ako je uređaj konstruiran za spajanje direktno na zid.

Kada se provode mjerenja u režimu grijanja, na uređaju je potrebno podesiti najvišu sobnu temperaturu, dok je u režimu hlađenja na uređaju potrebno podesiti najnižu sobnu temperaturu. Ako proizvođač u uputama navodi vrijednost za podešavanje temperature na kontrolnom uređaju za određene ispitne uvjete, potrebno je koristiti tu vrijednost.

## MJERNE TOČKE

Mjerne točke tlaka i temperature moraju biti raspoređene tako da se dobiju bitne srednje vrijednosti. Za mjerenje temperature usisnog zraka potrebno je:

- imati barem jedan osjetnik po kvadratnom metru i najmanje četiri mjerne točke uz ograničenje od 20 jednako raspoređenih osjetnika na slobodnoj površini zraka
- ili koristiti akvizicijski uređaj. Uređaj mora biti opremljen s četiri osjetnika za provjeru jednolikosti temperature ako je površina veća od 1 m<sup>2</sup>.

Osjetnici temperature zraka moraju biti postavljeni na udaljenost od 0,25 m od slobodne površine. Za jedinice koje se sastoje od dizalice topline i spremnika kao tvornički izrađene jedinice, potrebno je mjeriti ulaznu i izlaznu temperaturu vode. Kada se koristi voda kao medij za prijenos topline, gustoće u jednadžbama (1) i (2) utvrđuju se prema temperaturi izmjerenoj u blizini uređaja za mjerenje protoka.

### 3.3.1.3. Mjerna nesigurnost

Mjerna nesigurnost ne smije prelaziti vrijednosti navedene u Tablici 7.

Tablica 7. Mjerne nesigurnosti za navedene vrijednosti

Mjerena veličina	Jedinica	Mjerna nesigurnost
<b>Kapljevina</b>		
temperaturna razlika	K	$\pm 0,15$ K
temperatura ulaza/izlaza	K	$\pm 0,15$ K
volumni protok	m <sup>3</sup> /s	$\pm 1$ %
razlika statičkog tlaka	kPa	$\pm 1$ kPa ( $\Delta p \leq 20$ kPa) ili $\pm 5$ % ( $\Delta p > 20$ kPa)
<b>Zrak</b>		
temperatura suhog termometra	°C	$\pm 0,2$ K
temperatura vlažnog termometra	°C	$\pm 0,4$ K
volumni protok	m <sup>3</sup> /s	$\pm 5$ %
razlika statičkog tlaka	kPa	$\pm 5$ Pa ( $\Delta p \leq 100$ Pa) ili $\pm 5$ % ( $\Delta p > 100$ Pa)
<b>Radna tvar</b>		
tlak na izlazu iz kompresora	kPa	$\pm 1$ %
temperatura	°C	$\pm 0,5$ K
<b>Medij za prijenos topline</b>		
koncentracija	%	$\pm 2$
<b>Električne veličine</b>		
električna snaga	W	$\pm 1$ %
napon	V	$\pm 0,5$ %
jakost struje	A	$\pm 0,5$ %
električna energija	kWh	$\pm 1$ %
<b>Kompresor</b>		
brzina vrtnje kompresora	min <sup>-1</sup>	$\pm 0,5$ %

Kapaciteti hlađenja ili grijanja mjereni na strani kapljevine određuju se uz maksimalnu dopuštenu nesigurnost od 5 %, neovisno o pojedinačnim mjernim nesigurnostima uključujući i nesigurnosti pri određivanju svojstava fluida. Kapaciteti grijanja ili hlađenja izmjereni u stacionarnom stanju kalorimetrskom metodom također moraju biti određeni uz maksimalnu mjernu nesigurnost od 5 %, neovisno o pojedinačnim mjernim nesigurnostima. Kapaciteti grijanja i hlađenja izmjereni na strani zraka korištenjem metode entalpije zraka moraju biti određeni uz maksimalno dozvoljeno odstupanje od 10 %, neovisno o pojedinačnim mjernim nesigurnostima.

#### 3.3.1.4. Postupak ispitivanja

U Tablici 8. prikazana su dopuštena odstupanja od zadanih vrijednosti za uvjete ispitivanja.

Tablica 8. Dopusštena odstupanja od zadanih vrijednosti

Mjerena veličina	Dopusšteno odstupanje aritmetičke sredine od zadanih vrijednosti	Dopusšteno odstupanje svih pojedinačno izmjerenih vrijednosti od zadanih vrijednosti
<b>Kapljevina</b>		
ulazna temperatura	$\pm 0,2 \text{ K}$	$\pm 0,5 \text{ K}$
izlazna temperatura	$\pm 0,3 \text{ K}$	$\pm 0,6 \text{ K}$
volumni protok	$\pm 1 \%$	$\pm 2,5 \%$
razlika statičkog tlaka	-	$\pm 10 \%$
<b>Zrak</b>		
ulazna temperatura	$\pm 0,3 \text{ K}$	$\pm 1 \text{ K}$
ulazna temperatura (vlažnog termometra)	$\pm 0,4 \text{ K}$	$\pm 1 \text{ K}$
volumni protok	$\pm 5 \%$	$\pm 10 \%$
razlika statičkog tlaka	-	$\pm 10 \%$
<b>Radna tvar</b>		
temperatura kapljevine	$\pm 1 \text{ K}$	$\pm 2 \text{ K}$
temperatura suhozasićene pare	$\pm 0,5 \text{ K}$	$\pm 1 \text{ K}$
<b>Napon</b>	$\pm 4 \%$	$\pm 4 \%$

## IZLAZNI PODACI MJERENJA ZA REŽIM HLAĐENJA VODOM HLAĐENIH JEDINICA

Stacionarni uvjeti smatraju se postignutim onda kada sve mjerene veličine ostaju nepromijenjene u trajanju od najmanje 30 minuta uz dopuštena odstupanja navedena u Tablici 8. Povremene fluktuacije mjerenih veličina uzrokovane djelovanjem regulacijskih i upravljačkih uređaja su dopuštene, pod uvjetom da srednja vrijednost takvih promjena ne prelazi dozvoljena odstupanja navedena u Tablici 8.

Za dobivanje konačnih izlaznih podataka mjerenja potrebno je bilježiti sve bitne podatke kontinuirano. U slučaju uređaja za prikupljanje podataka, potrebno je pohranjivati podatke svakih 30 sekundi. Izlazni podaci moraju se mjeriti za vrijeme stacionarnih uvjeta. Trajanje mjerenja ne smije biti manje od 35 minuta.

## IZLAZNI PODACI MJERENJA ZA REŽIM HLAĐENJA ZRAKOM HLAĐENIH JEDINICA

Stacionarni uvjeti smatraju se postignutim onda kada sve mjerene veličine ostaju nepromijenjene u trajanju od najmanje 1 sat uz dopuštena odstupanja navedena u Tablici 8. Povremene fluktuacije mjerenih veličina uzrokovane djelovanjem regulacijskih i upravljačkih uređaja su dopuštene, pod uvjetom da srednja vrijednost takvih promjena ne prelazi dozvoljena odstupanja navedena u Tablici 8.

Za dobivanje konačnih izlaznih podataka mjerenja potrebno je bilježiti sve bitne podatke kontinuirano. U slučaju uređaja za prikupljanje podataka, potrebno je pohranjivati podatke svakih 30 sekundi. Izlazni podaci moraju se mjeriti za vrijeme stacionarnih uvjeta. Trajanje mjerenja ne smije biti manje od 35 minuta.

### 3.3.1.5. Izlazni podaci ispitivanja

Podaci koje je potrebno zabilježiti pri ispitivanju kapaciteta uređaja navedeni su u Tablici 9. Tablica daje pregled općih podataka koji su potrebni pri ispitivanju, ali ne ograničava mogućnost prikupljanja i praćenja ostalih podataka. Ovi podaci moraju biti srednje vrijednosti uzete tijekom čitavog razdoblja prikupljanja podataka.



Tablica 9. Podaci koje je potrebno zabilježiti pri ispitivanju kapaciteta

Izmjerena veličina	Mjerna jedinica	Kalorimetar	Metoda entalpije zraka	Metoda entalpije vode
<b>1.) Okolišni uvjeti</b>				
temperatura zraka	°C	-	X	X
atmosferski tlak	kPa	X	X	-
<b>2.) Električne veličine</b>				
napon	V	X	X	X
ukupna jakost struje	A	X	X	X
ukupna ulazna snaga	W	X	X	X
ukupna efektivna snaga	W	X	X	X
<b>3.) Termodinamičke veličine</b>				
<b>a) Unutarnji izmjenjivač topline</b>				
<b>Zrak</b>				
ulazna temperatura	°C	X	X	-
ulazna temperatura vlažnog termometra	°C	X	X	-
<b>Kanalni sustavi</b>				
izlazna temperatura	°C	-	X	-
izlazna temperatura vlažnog termometra	°C	-	X	-
vanjska/unutarnja razlika statičkog tlaka	Pa	X	X	-
volumni protok	m <sup>3</sup> /s	-	X	-
protok kondenzata	kg/s	X	X	-
<b>Voda</b>				
ulazna temperatura	°C	X	-	X
izlazna temperatura	°C	X	-	X
volumni protok	m <sup>3</sup> /s	X	-	X
postavke brzine pumpe, ako je primjenjivo	-	X	-	X
razlika tlaka	kPa	X	-	X
<b>b) Vanjski izmjenjivač topline</b>				
<b>Zrak</b>				
ulazna temperatura	°C	X	X	X
ulazna temperatura vlažnog termometra	°C	X	X	X
<b>Kanalni sustavi</b>				
izlazna temperatura	°C	-	X	-
izlazna temperatura vlažnog termometra	°C	-	X	-
vanjska/unutarnja razlika statičkog tlaka	Pa	X	X	-
volumni protok	m <sup>3</sup> /s	X	X	X
<b>Voda</b>				
ulazna temperatura	°C	X	X	X
izlazna temperatura	°C	X	X	X
volumni protok	m <sup>3</sup> /s	X	X	X
postavke brzine pumpe, ako je primjenjivo	-	X	X	X
razlika tlaka	kPa	X	X	X

Izmjerena veličina	Mjerna jedinica	Kalorimetar	Metoda entalpije zraka	Metoda entalpije vode
<b>c) Rekuperator topline</b>				
ulazna temperatura	°C	-	-	X
izlazna temperatura	°C	-	-	X
volumni protok	m <sup>3</sup> /s	-	-	X
razlika tlaka	kPa	-	-	X
<b>d) Medij za prijenos topline (različit od vode)</b>				
volumna koncentracija	%	X	X	X
gustoća	kg/m <sup>3</sup>	X	X	X
specifični toplinski kapacitet	J/(kgK)	X	X	X
<b>e) Radna tvar<sup>a</sup></b>				
izlazni tlak (na izlazu iz kompresora)	bar abs	-	-	X
temperatura zasićene pare	°C	-	-	X
temperatura kapljevine	°C	-	-	X
<b>f) Kompresor</b>				
brzina vrtnje (otvorenog tipa)	min <sup>-1</sup>	-	-	X
snaga motora (samo za otvorene tipove)	W	-	-	X
frekvencija kompresora (samo frekvencijski tipovi)	Hz	X	X	X
<b>g) Kalorimetar</b>				
ulazna toplota u kalorimetar	W	X	-	-
izlazna toplota iz kalorimetra	W	X	-	-
okolišna temperatura oko kalorimetra	°C	X	-	-
temperatura vode koja ulazi u ovlaživač	°C	X	-	-
temperatura kondenzata	°C	X	-	-
<b>h) Odleđivanje</b>				
vrijeme odleđivanja	s	X	X	X
radni ciklus s odleđivanjem	min	X	X	X
<b>4) Trajanje prikupljanja podataka</b>	min	X	X	X
<b>5) Kapaciteti</b>				
ogrjevnj kapacitet ( $\Phi_H$ )	W	X	X	X
ukupni rashladni kapacitet ( $\Phi_C$ )	W	X	X	X
latentni rashladni kapacitet ( $\Phi_L$ )	W	X	X	X
osjetni rashladni kapacitet ( $\Phi_S$ )	W	X	X	X
kapacitet rekuperatora topline	W	-	-	X
<b>6) Omjeri</b>				
COP	W/W	X	X	X
EER	W/W	X	X	X
SHR <sup>b</sup>	W/W	X	X	-
a - samo za uređaje s odvojenim kondenzatorom				
b - samo za zrak-zrak i voda-zrak jedinice				

Prosječni kapacitet hlađenja, grijanja (u stacionarnom stanju) i rekuperatora topline određuje se na temelju svih kapaciteta zabilježenih tijekom perioda prikupljanja podataka, ili na temelju prosječnih vrijednosti temperatura i protoka prikupljenih za isti period vremena. Prosječna električna snaga dobiva se integriranjem električne snage po istom vremenu prikupljanja podataka kao i u slučaju određivanja rashladnog kapaciteta.

#### 3.3.1.6. Određivanje električne snage uređaja u stanju mirovanja

Ako postoji mogućnost, sustav se prebaci u stanje mirovanja pomoću upravljačkog uređaja, te se nakon 10 minuta mjeri preostala električna snaga koja predstavlja snagu uređaja u stanju mirovanja,  $P_{SB}$ .

#### 3.3.1.7. Određivanje električne snage isključenog uređaja

Sustav se pomoću upravljačkog uređaja isključi (prebaci u off mode), ali tako da pritom ostane spojen na napajanje električne energije. Nakon 10 minuta, mjeri se preostala električna snaga koja onda predstavlja električnu snagu isključenog uređaja,  $P_{OFF}$ .

#### 3.3.1.8. Potrošnja električne energije

Potrošnja električne energije u režimu hlađenja za jednokanalne ( $Q_{SD}$ ) i dvokanalne sustave ( $Q_{DD}$ ) deklarira se kao nazivna ulazna snaga  $P_{EER}$  pomnožena s brojem radnih sati. Potrošnja električne energije u režimu grijanja za jednokanalne ( $Q_{SD}$ ) i dvokanalne sustave ( $Q_{DD}$ ) deklarira se kao nazivna ulazna snaga  $\Phi_{COP}$  pomnožena s brojem radnih sati.

### 3.3.2. Izvješće o ispitivanju

Najmanje što izvješće o ispitivanju mora sadržavati je:

- a) datum
- b) institut za ispitivanje
- c) lokacija ispitivanja
- d) metoda ispitivanja
- e) nadzornik ispitivanja
- f) oznaka ispitnog objekta
  - 1) tip
  - 2) serijski broj
  - 3) ime proizvođača
- g) vrsta radne tvari
- h) masa radne tvari
- i) svojstva fluida
- j) referenca na ovu normu

Dodatne informacije navedene na pločici s podacima također moraju biti zabilježene u izvješću o ispitivanju, kao i bilo koje druge informacije relevantne za ispitivanje. Također, bitno je navesti da li je ispitivanje provedeno na novom uređaju ili nije. U slučaju da je ispitivanje provedeno na uređaju koji se već koristi, potrebno je navesti godinu instalacije uređaja i čišćenja cijevi izmjenjivača topline.

#### 3.3.2.1. Rezultati ispitivanja pri standardnim uvjetima

Nazivni kapaciteti, ulazna električna snaga, COP, EER, unutarnji ili vanjski statički tlak moraju se navesti zajedno sa standardnim ispitnim uvjetima. Tablica 10. predstavlja predložak za izvješće o rezultatima ispitivanja.

Tablica 10. Predložak za izvješće o rezultatima ispitivanja

Opis	Simbol	Jedinica
Standardni uvjeti ispitivanja, temperatura suhog (vlažnog) termometra unutarnjeg zraka, režim hlađenja	-	°C
Standardni uvjeti ispitivanja, temperatura suhog (vlažnog) termometra vanjskog zraka, režim hlađenja	-	°C
Nazivni kapacitet hlađenja	$\Phi_{\text{rated}}$	kW
Nazivna ulazna snaga, režim hlađenja	$P_{\text{EER}}$	kW
Nazivni faktor hlađenja	$EER_{\text{rated}}$	-
Potrošnja električne energije, režim hlađenja jednokanalni sustavi	$Q_{\text{SD}}$	kWh/h
dvokanalni sustavi	$Q_{\text{DD}}$	kWh/h
Standardni uvjeti ispitivanja, temperatura suhog (vlažnog) termometra unutarnjeg zraka, režim grijanja	-	°C
Standardni uvjeti ispitivanja, temperatura suhog (vlažnog) termometra vanjskog zraka, režim grijanja	-	°C
Nazivni kapacitet grijanja	$\Phi_{\text{rated}}$	kW
Nazivna ulazna snaga, režim grijanja	$P_{\text{COP}}$	kW
Nazivni toplinski množitelj	$COP_{\text{rated}}$	-
Potrošnja električne energije, režim grijanja jednokanalni sustavi	$Q_{\text{SD}}$	kWh/h
dvokanalni sustavi	$Q_{\text{DD}}$	kWh/h
Snaga isključenog uređaja	$P_{\text{OFF}}$	kW
Snaga uređaja u stanju mirovanja	$P_{\text{SB}}$	kW

### 3.4. HRN EN 14511-4 – Zahtjevi

U posljednjem dijelu norme specificirani su minimalni zahtjevi koji osiguravaju da klimatizacijski sustavi, dizalice topline i rashladnici kapljevine s kompresorima na električni pogon budu pogodni za korištenje kao što je određeno od strane proizvođača.

#### 3.4.1. Temperaturno područje rada

##### TEST POKRETANJA

Uređaj mora biti sposoban raditi unutar zadanih granica (temperature i protoci) navedenih od strane proizvođača. Za svaki uvjet naveden u Tablici 11., za oba režima, hlađenje i grijanje, uređaj se mora pokrenuti i raditi najmanje 30 minuta bez zaustavljanja od strane sigurnosnih uređaja.

*Tablica 11. Granični radni uvjeti*

Tip uređaja	Ulazna temperatura na vanjskom izmjenjivaču topline, °C	Izlazna temperatura na unutarnjem izmjenjivaču topline, °C	Protok vode rashladnika kapljevine	Napon, V
Svi tipovi	Gornja granična temperatura	Gornja granična temperatura	Najveći	Nazivni napon
Svi tipovi	Donja granična temperatura	Donja granična temperatura	Najmanji	Nazivni napon

Temperature se postave na početku ispitivanja i održavaju se konstantnim tijekom ispitivanja. Ispitni napon se na početku ispitivanja postavi na vrijednost navedenu u Tablici 11., te se održava konstantnim tijekom ispitivanja. Okolišni uvjeti za vrijeme ispitivanja moraju biti jednaki onim navedenim u Tablicama 2. i 3. Protoci moraju biti jednaki protocima korištenim kod ispitivanja nazivnih kapaciteta kao što je specificirano u EN 14511-2.

Odstupanja od postavljenih vrijednosti moraju biti između:

- nula i minus dvostruko dopušteno odstupanje prema Tablici 8., za gornju graničnu temperaturu
- nula i plus dvostruko dopušteno odstupanje prema Tablici 8., za donju graničnu temperaturu

#### ISPITIVANJE PRI VRŠNIM POGONSKIM UVJETIMA (REŽIM HLAĐENJA)

Kada radi u uvjetima navedenim u Tablici 12. u trajanju od 1 sat, nakon čega se isključi na 5 minuta, a zatim se ponovno uključi, uređaj mora ispunjavati sljedeće zahtjeve:

- motor uređaja mora raditi neprekidno prvih sat vremena bez cupkanja naprave za zaštitu motora od preopterećenja;
- nakon perioda od 5 minuta isključenosti, uređaj se mora automatski ponovno pokrenuti za manje od 5 minuta nakon ponovnog pokretanja kompresora;
- motor uređaja mora ponovno raditi neprekidno preostalih sat vremena bez cupkanja naprave za zaštitu motora od preopterećenja.

Ovo ispitivanje može se kombinirati s odgovarajućim testom pokretanja za sve tipove uređaja osim za klimatizacijske uređaje s kontrolnim ormarom gdje je izlazna temperatura unutarnjeg izmjenjivača topline spuštена na 35 °C nakon početnog vremena.

*Tablica 12. Vršni pogonski uvjeti*

Tip	Ulazna temperatura na vanjskom izmjenjivaču topline, °C	Izlazna temperatura na unutarnjem izmjenjivaču topline, °C	Napon, V
Klimatizacijski uređaj s kontrolnim ormarom	Gornja granična temperatura	35	Nazivni napon
Svi ostali tipovi	Gornja granična temperatura	Gornja granična temperatura	Nazivni napon

### TEST ZALEĐIVANJA ZRAKOM HLAĐENIH UREĐAJA

Nakon što je uređaj bio u pogonu 6 sati u uvjetima navedenim u Tablici 13., te nakon što je završen posljednji ciklus hlađenja, moraju biti ispunjeni sljedeći uvjeti:

- nema nakupljenog leda na isparivaču;
- nema leda koji izlazi iz uređaja;
- nema vode koja curi ili se otpuhuje u prostoriju.

*Tablica 13. Uvjeti za test zaleđivanja*

Tip uređaja	Temperatura na vanjskom izmjenjivaču topline	Temperatura na unutarnjem izmjenjivaču topline, °C			Protok zraka
		Zrak		Voda	
		Suhi termometar	Vlažni termometar		
Svi tipovi	Donja granica korištenja	21	25	Najniža ulazna temperatura	Najmanja vrijednost dozvoljena od strane proizvođača

### TEST ZALEĐIVANJA VODOM HLAĐENIH UREĐAJA

Nakon što je uređaj bio u pogonu 6 sati u uvjetima navedenim u Tablici 13., moraju biti ispunjeni sljedeći uvjeti:

- protok zraka kroz uređaj ne smije pasti za više od 5%;
- temperaturni pad vode ne smije biti veći od 30%;
- temperatura zasićenja koja odgovara tlaku izmjerenom na usisu kompresora ne smije se smanjiti za više od 2 °C.



### 3.4.2. Zaustavljanje protoka medija za prijenos topline

Za provjeru ispravnog rada sigurnosnih uređaja sustava, sljedeći kvarovi se uzastopno simuliraju. Sustav mora postići stacionarno stanje pri standardnim radnim uvjetima u trajanju od 30 minuta prije simuliranja svakog kvara. Svaki simulirani kvar mora biti održavan barem 1 sat.

- a) Zaustavljanje protoka medija za prijenos topline na vanjskom izmjenjivaču topline.
- b) Zaustavljanje protoka medija za prijenos topline na unutarnjem izmjenjivaču topline.
- c) Zaustavljanje protoka medija za prijenos topline na rekuperatoru topline (ako postoji).

Iako sigurnosni uređaji rade tijekom ispitivanja, sustav se provjerava od bilo kakvih oštećenja nastalih za vrijeme ispitivanja. Uređaj ne smije pretrpjeti nikakvu štetu i mora ostati sposoban za rad nakon ponovnog uspostavljanja protoka.

### 3.4.3. Označavanje

Svaki uređaj mora imati trajno fiksiranu natpisnu pločicu koja je lako čitljiva i dostupna kada je uređaj u položaju za upotrebu, te koja sadrži sljedeće podatke kao dodatak podacima potrebnim prema sigurnosnim standardima:

- a) proizvođača ili dobavljača;
- b) tvorničku oznaku modela i serijski broj;
- c) COP i/ili EER (do tri znamenke) i standardne uvjete ispitivanja pri kojima su provedena mjerenja prema Tablicama 3. do 23. norme EN 14511-2;
- d) kapacitet hlađenja/grijanja u kW s dvije znamenke iza decimalne točke;
- e) kapacitet osjetnog hlađenja u kW s jednom znamenkom iza decimalne točke (za klimatizacijske sustav s kontrolnim ormarom)

### 3.4.4. Tehnički podaci

#### 3.4.4.1. Opći opis

Proizvođač mora navesti sljedeće podatke:

- zaštitni znak, oznaku modela;
- napajanje (napon, frekvencija);
- naziv uređaja (npr. zrak-voda);
- namjena uređaja;
- vrstu i masu punjenja radne tvari;
- ukupne dimenzije i masu svake komponente uređaja zasebno;

#### 3.4.4.2. Radne karakteristike

Proizvođač mora osigurati korisniku radne karakteristike uređaja pri standardnim uvjetima ispitivanja prema EN 14511-2 i EN 14511-3 u tablici ili grafički.

Radne karakteristike uključuju:

- kapacitet hlađenja, efektivnu ulaznu snagu, EER i SHR;
- kapacitet grijanja, efektivnu ulaznu snagu i COP;
- kapacitet rekuperatora topline i vrstu tekućine (ako postoji).

Proizvođač je dužan navesti da se karakteristike odnose na novi uređaj s čistim izmjenjivačima topline.

#### 3.4.4.3. Dodatne karakteristike

Dodatno, proizvođač može navesti sljedeće karakteristike za standardne točke mjerenja:

- zrak-zrak uređaji: protoci ili brzina vrtnje ventilatora;
- zrak-voda uređaji: protok zraka ili brzina vrtnje ventilatora, protok vode i razlika tlaka;
- uređaj namijenjen za prostore s podignutim podovima: nominalni protok i razlika vanjskog statičkog tlaka;
- ostali tipovi uređaja: nominalni protoci i razlika vanjskog statičkog tlaka za zrak i vodu

#### 3.4.4.4. Električne karakteristike

Proizvođač mora navesti električne karakteristike u skladu s normama EN 60335-2-40 ili EN 60204-1 i:

- maksimalnu struju uključivanja uređaja kao što je definirano u normi EN 61000-3-11;
- ukupnu ulaznu snagu i struju za standardne uvjete ispitivanja;
- jalovu snagu ili faktor snage za standardne uvjete ispitivanja za uređaje s ukupnom ulaznom snagom većom od 10 kW;
- snagu ventilatora i pumpe ako se nalaze u sklopu uređaja.

#### 3.4.4.5. Radno područje

Proizvođač je dužan specificirati:

- granice korištenja (temperature i protoke);
- da li postoje uređaji koji ne dopuštaju rad sustava kada je prekoračena neka od granica korištenja.

### 3.4.5. Upute

#### 3.4.5.1. Krug radne tvari, zraka i/ili kapljevine

Proizvođač mora:

- specificirati krug radne tvari, zraka i kapljevine te po mogućnosti pružiti shemu čitavog sklopa prikazujući svaku funkcionalnu cjelinu, kontrolne i sigurnosne uređaje i navesti njihov tip;
- ako uređaj koristi vodu u izmjenjivačima topline, navesti kapacitet vode koja se nalazi u sustavu i specificirati ili konstrukcijski materijal izmjenjivača topline ili kvalitetu vode;
- ako se koristi, navesti vrstu kapljevine (glikol, vodena otopina soli, voda...) i koncentraciju;
- specificirati vrstu ulja koja se koristi u kompresoru.

#### 3.4.5.2. Kontrola i sigurnost

Proizvođač mora:

- navesti funkcije uređaja za kontrolu i sigurnost, specificirati njihovu mogućnost podešavanja i način na koji se sigurnosni uređaj ponovno podešava;
- osigurati specifikacije za sve kontrolne i sigurnosne uređaje potrebne da bi se omogućio ispravan rad sustava, ali koji se ne nalaze na jedinici;
- specificirati sva ograničenja korištenja ostalih komponenti sustava.

#### 3.4.5.3. Upute za instalaciju

Gdje je primjenjivo, proizvođač mora specificirati:

- potrebne uvjete za instalaciju (da li uređaj treba biti instaliran u vanjskom ili unutarnjem grijanom prostoru);
- zahtjeve prostornog rasporeda, pristupa i čišćenja;
- zahtjeve za električne spojeve, spojeve cjevovoda radne tvari i vode, te kanalne spojeve za zrak;
- položaj uređaja za upozoravanje;
- instalacijske mjere opreza koje treba poduzeti kako bi se osigurala:
  - 1) pravilna cirkulacija medija za prijenos topline;
  - 2) pražnjenje vode;
  - 3) čistoća površina izmjenjivača topline;
  - 4) smanjenje buke, vibracija ili drugih štetnih efekata.

#### 3.4.5.4. Upute za održavanje

Proizvođač mora specificirati:

- učestalost redovitog održavanja koje se obavlja od strane korisnika
- učestalost redovitog održavanja i kontroliranja koje obavlja stručna osoba

## 4. PRINCIP RADA ISPITNE MJERNE STANICE – VERZIJA 1

Ideja načina rada ispitne mjerne stanice preuzeta je od tvrtke „Trane“ prema njihovom katalogu „*Chiller performance testing program*“ [8] u kojem su opisane metode ispitivanja vodom i zrakom hlađenih rashladnika kapljevine. Kao što je spomenuto u uvodu, ispitna stanica bit će dimenzionirana za ispitivanje radnih karakteristika rashladnika kapljevine sa zrakom hlađenim kondenzatorom i vodom hlađenim kondenzatorom kapaciteta od 50 do 500 kW. Obzirom da se ispitivanje vodom hlađenih rashladnika razlikuje od ispitivanja zrakom hlađenih rashladnika kapljevine, u nastavku će biti opisani principi rada mjerne stanice za oba slučaja. Osnovne komponente ispitne stanice su ispitna prostorija, akumulacijski spremnik vode, dizalica topline te sustav za akviziciju podataka. Cilj ispitivanja rashladnika kapljevine jest dokazati podudaranje proračunatih kapaciteta uređaja s kapacitetima izmjerenim u stvarnosti pri standardnim ili nekim drugim radnim uvjetima. Standardni uvjeti ispitivanja za zrakom i vodom hlađene rashladnike kapljevina prikazani su u Tablici 4. i 5. u točki 3.2.2. ovog rada.

### RASPON ISPITIVANJA

Najveći kapacitet isparivača rashladnog uređaja za ispitivanje:  $\Phi_{iMAX} = 500 \text{ kW}$

Najveći kapacitet kondenzatora rashladnog uređaja za ispitivanje:  $\Phi_{kMAX} = 650 \text{ kW}$

Najmanji kapacitet isparivača rashladnog uređaja za ispitivanje:  $\Phi_{iMIN} = 50 \text{ kW}$

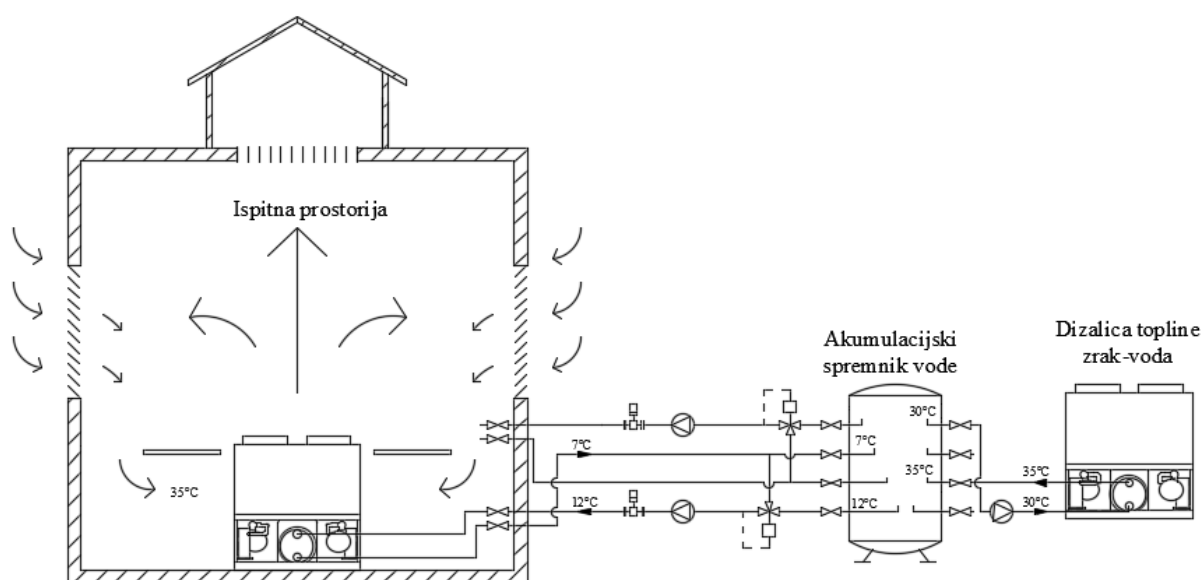
Najmanji kapacitet kondenzatora rashladnog uređaja za ispitivanje:  $\Phi_{kMIN} = 65 \text{ kW}$

### STANDARDNI UVJETI ISPITIVANJA

- Vodom hlađeni rashladnik kapljevine
  - Ulazna temperatura vode u isparivač:  $\vartheta_{i1} = 12 \text{ °C}$
  - Izlazna temperatura vode iz isparivača:  $\vartheta_{i2} = 7 \text{ °C}$
  - Ulazna temperatura vode u kondenzator:  $\vartheta_{k1} = 30 \text{ °C}$
  - Izlazna temperatura vode iz kondenzatora:  $\vartheta_{k2} = 35 \text{ °C}$
- Zrakom hlađeni rashladnik kapljevine
  - Ulazna temperatura vode u isparivač:  $\vartheta_{i1} = 12 \text{ °C}$
  - Izlazna temperatura vode iz isparivača:  $\vartheta_{i2} = 7 \text{ °C}$
  - Ulazna temperatura zraka u kondenzator:  $\vartheta_{zr1} = 35 \text{ °C}$

#### 4.1. Princip rada ispitne stanice pri ispitivanju zrakom hlađenih rashladnika kapljevine

Kod ispitivanja zrakom hlađenih rashladnika kapljevine najvažnije je osigurati stabilan protok vode kroz isparivač uz traženi temperaturni režim (12/7 °C) te osigurati konstantnu ulaznu temperaturu zraka (35 °C) u kondenzator. Obzirom da protoci zraka kroz kondenzator, u slučaju kapaciteta rashladnika vode od 500 kW, mogu iznositi i do 110 m<sup>3</sup>/s, upravo regulacija ulazne temperature zraka u kondenzator predstavlja najveći problem. Problem regulacije temperature zraka riješen je postavljanjem automatski reguliranih žaluzina na bočne zidove i strop ispitne prostorije. Regulacija temperature zraka vrši se miješanjem vanjskog i unutarnjeg zraka. Zrak se u kondenzatoru zagrijava s 35 °C na 40 °C, nakon čega se dio zraka odvodi iz prostorije kroz stropni otvor, dok se dio vraća prema rashladniku vode te se na taj način inducira usis vanjskog zraka kroz bočne žaluzine. Ovisno o temperaturi okoliša regulira se otvorenost žaluzina, odnosno miješanje vanjskog i unutarnjeg zraka te se na taj način osigurava ulazna temperatura zraka u kondenzator. Također, bitno je napomenuti da ispitivanje nije moguće provoditi ako je temperatura okoliša viša od 35°C jer se u tom slučaju unutarnji zrak neće moći hladiti miješanjem s vanjskim zrakom. Iako postoji ograničenje, pretpostavka je da će se ispitivanje moći provoditi u većem dijelu godine zbog vrlo malog broja dana u kojima je temperatura zraka viša od 35 °C.



Slika 5. Shema mjerne stanice pri ispitivanju zrakom hlađenih rashladnika kapljevine

Prije samog početka ispitivanja, rashladni uređaj, namijenjen za ispitivanje, potrebno je postaviti u ispitnu prostoriju te spojiti polazni i povratni cjevovod od akumulacijskog spremnika vode do isparivača kao što je prikazano na Slici 5. Polazni i povratni cjevovod međusobno su povezani troputnim miješajućim ventilom čija uloga je regulacija polazne temperature vode prema isparivaču. Troputni ventil u ovisnosti o temperaturi iza ventila miješa povratnu struju vode s polaznom iz akumulacijskog spremnika kako bi uspostavio željeni temperaturni režim. Na polaznom cjevovodu nalaze se još pumpa, koja ima ulogu održavanja konstantnog i stabilnog protoka vode, te osjetnici temperature i protokomjer.

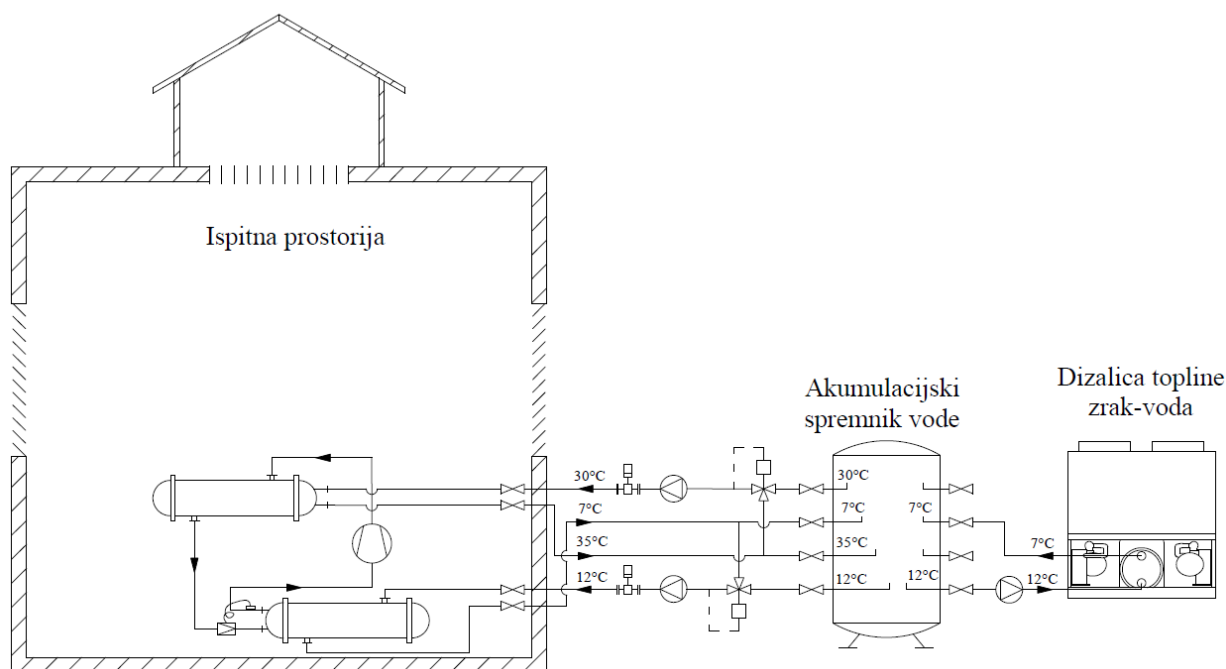
Obzirom da je u ovom slučaju na akumulacijski spremnik vode spojen isparivač rashladnog uređaja, temperatura vode u akumulacijskom spremniku će se snižavati. Stoga je vodu u spremniku potrebno grijati kako se temperatura vode u spremniku ne bi spustila ispod donje granične vrijednosti, koja iznosi 12 °C. Kada bi se temperatura vode u donjem dijelu spremnika spustila ispod 12 °C, tada više ne bi bilo moguće uspostaviti traženi temperaturni režim na isparivaču, koji iznosi 12/7 °C. Za grijanje vode koristi se dizalica topline zrak-voda ogrjevnog kapaciteta 500 kW. Dizalica topline pokreće se istovremeno s rashladnim uređajem te zagrijava vodu u spremniku sve dok se ispitivanje ne završi. Nakon puštanja rashladnog uređaja u rad i postizanja stacionarnih uvjeta, propisanih prema normi HRN EN 14511 [7], ispitivanje se mora provoditi u trajanju od najmanje 35 minuta. Za dobivanje konačnih izlaznih rezultata potrebno je bilježiti sve bitne podatke kontinuirano. Podaci koje je potrebno pohranjivati pri ispitivanju navedeni su u Tablici 9. u točki 3.3.1.5. ovog rada, a ulogu pohranjivanja ima akvizicijski uređaj.

#### **4.2. Princip rada ispitne stanice pri ispitivanju vodom hlađenih rashladnika kapljevine**

Za razliku od ispitivanja zrakom hlađenih rashladnika kapljevine kod kojih se pojavljuje problem s regulacijom temperature zraka na ulazu u kondenzator, kod ispitivanja vodom hlađenih rashladnika kapljevine situacija je nešto jednostavnija. U ovom slučaju bitno je osigurati tražene protoke i temperaturne režime kako na isparivačkoj (12/7 °C), tako i na kondenzatorskoj strani (30/35 °C). Stoga je, nakon postavljanja rashladnog uređaja u ispitnu prostoriju, potrebno spojiti cjevovode polaza i povrata od akumulacijskog spremnika do isparivača i kondenzatora kao što je prikazano na Slici 6. Isto kao i kod ispitivanja zrakom

hlađenih rashladnika vode, na oba kruga postavljeni su sljedeći regulacijski uređaji, koji osiguravaju postizanje zadanih protoka i temperaturnih režima: pumpa, miješajući troputni ventil, osjetnici temperature i protokomjer.

Poznavajući osnove rada rashladnog uređaja, sa sigurnošću možemo reći kako će temperatura vode u akumulacijskom spremniku rasti jer je kapacitet kondenzatora veći od kapaciteta isparivača za snagu kompresora. Stoga je vodu u akumulacijskom spremniku potrebno hladiti, a tu svrhu ima dizalica topline rashladnog kapaciteta 430 kW. Kada temperatura vode u gornjem dijelu spremnika dosegne gornju graničnu temperaturu od 30 °C, pali se pumpa u krugu dizalice topline te se voda hladi. Kada bi temperatura vode u gornjem dijelu spremnika narasla iznad 30 °C, ne bi više bilo moguće uspostaviti traženi temperaturni režim na kondenzatoru, koji iznosi 30/35 °C. Nakon puštanja uređaja u rad i postizanja stacionarnih uvjeta, propisanih prema normi HRN EN 14511 [7], isto kao i kod ispitivanja zrakom hlađenih rashladnih uređaja, ispitivanje se mora provoditi u trajanju od najmanje 35 minuta. Za dobivanje konačnih izlaznih rezultata potrebno je bilježiti sve bitne podatke kontinuirano. Podaci koje je potrebno pohranjivati pri ispitivanju navedeni su u Tablici 9. u točki 3.3.1.5. ovog rada, a ulogu pohranjivanja podataka ima akvizicijski uređaj.



Slika 6. Shema mjerne stanice pri ispitivanju vodom hlađenih rashladnika kapljevine



## 5. DIMENZIONIRANJE KOMPONENTI ISPITNE MJERNE STANICE – VERZIJA 1

Kako bi se omogućio dobar rad ispitne mjerne stanice, potrebno je pravilno dimenzionirati sve njene komponente. Osnovne komponente od kojih se sastoji ova verzija ispitne stanice su: ispitna prostorija, akumulacijski spremnik vode, dizalica topline zrak-voda, cjevovodi, pumpe, troputni miješajući ventili, mjerači protoka, osjetnici temperature, upravljački sklop te akvizicijski sustav. Komponente ispitne stanice dimenzionirane su za slučaj najvećeg ispitnog kapaciteta rashladnog uređaja od 500 kW, koji je postignut pri standardnim uvjetima ispitivanja prema normi HRN EN 14511 [7].

### 5.1. Ispitna prostorija

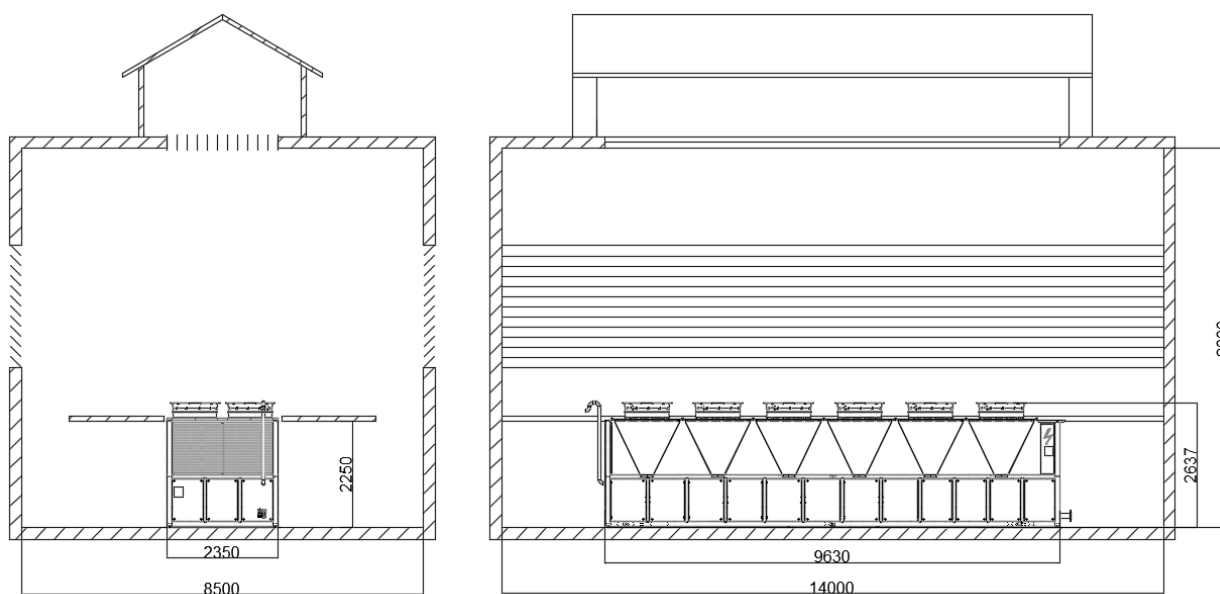
Veličina prostorije za ispitivanje mora se odabrati tako da se izbjegnu bilo kakvi otpori strujanju zraka na ulaznim i izlaznim otvorima ispitnog objekta u slučaju ispitivanja zrakom hlađenih rashladnika vode. Strujanje zraka kroz sobu ne smije biti takvo da se omogući miješanje ulaznog s izlaznim zrakom iz rashladnog uređaja. Također, brzina zraka u prostoriji ne smije biti veća od srednje brzine zraka na ulaznom otvoru uređaja. Ako nije navedeno drugačije od strane proizvođača, ulazni i izlazni otvor zraka ne smiju biti udaljeni manje od 1 m od površina ispitne prostorije. Bilo kakvo direktno toplinsko zračenje na ispitivani rashladni uređaj ili mjerne uređaje u ispitnoj prostoriji mora se izbjeci.

Prema gore navedenim uvjetima te prema dimenzijama zrakom hlađenog rashladnika vode kapaciteta 500 kW, preuzetih iz kataloga tvrtke Frigo Plus [9], odabrane su sljedeće dimenzije ispitne prostorije:

- duljina: 14 m
- visina: 8 m
- širina 8,5 m
- maksimalna veličina uređaja: 9,8m x 2,4m x 2,7m
- volumen ispitne prostorije: 952 m<sup>3</sup>

Na Slici 7. prikazana je shema ispitne prostorije sa svojim osnovnim dimenzijama. Na slici je vidljivo da se na visini od 2,25 m s obje strane rashladnog uređaja nalazi pregrada duž cijele ispitne prostorije. Ova pregrada dijeli ispitnu prostoriju na gornji i donji dio te ima ulogu sprječavanja miješanja izlaznog zraka iz kondenzatora s ulaznim zrakom u ispitni objekt. Pregrade su pomične, što znači da je moguće prilagoditi visinu ovisno o veličini ispitivanog rashladnog uređaja. Rashladni uređaj pozicionira se u samom središtu donjeg dijela ispitne prostorije čime se osigurava pravilno strujanje zraka kroz prostoriju u slučaju ispitivanja zrakom hlađenih rashladnika vode. Na bočnim zidovima nalaze se automatski regulirane žaluzine, koje omogućavaju usis vanjskog zraka u prostoriju, dok su na stropu smještene žaluzine namijenjene za odsis zraka iz prostorije.

Kako bi se maksimalno smanjilo direktno sunčevo zračenje kroz bočne žaluzine u ispitnu prostoriju, prostorija je orijentirana sjever – jug. Iznad stropnih žaluzina nalazi se mala nadstrešnica koja, osim od sunčevog zračenja, štiti prostoriju od padalina i vanjskog onečišćenja. Vrata ispitne prostorije dovoljno su velika da se kroz njih u ispitni prostor može unijeti rashladni uređaj maksimalnih dimenzija, a nalaze se s čeonu strane ispitne prostorije nasuprot strojarne. Strojarnica ispitne stanice smještena je s južne strane ispitne prostorije i u njoj je smješten akumulacijski spremnik topline te ostali pripadajući regulacijski elementi.



Slika 7. Shema ispitne prostorije

## 5.2. Cjevovodi

Za izradu cjevovoda odabrane su bešavne čelične cijevi. Dimenzije pojedinih cijevi odabrane su tako da brzina vode u cijevima ne prelazi maksimalne preporučene vrijednosti niti u jednoj dionici. U Tablici 14. ispisane su preporučene brzine strujanja vode za pojedine dimenzije cijevi prema [10].

Tablica 14. Preporučene brzine strujanja vode u cijevima

Nazivna veličina	Brzina strujanja vode [m/s]	
	Minimalna	Maksimalna
< DN 15	0,01-0,013	0,3
DN 15	0,013	0,35
DN 20	0,015	0,65
DN 25	0,018	0,8
DN 32	0,02	1
DN 40	0,03	1,5
DN 50	0,04	1,5
> DN 50	0,05-0,06	1,5

### 5.2.1. Cjevovod od akumulacijskog spremnika do isparivača

Cjevovodom od akumulacijskog spremnika do isparivača rashladnog uređaja struji voda koja se u isparivaču hladi s  $\vartheta_{i1} = 12\text{ °C}$  na  $\vartheta_{i2} = 7\text{ °C}$  te se ohlađena vraća u spremnik (prema normi HRN EN 14511 [7]).

Ulazna temperatura vode u isparivač:  $\vartheta_{i1} = 12\text{ °C}$

Izlazna temperatura vode iz isparivača:  $\vartheta_{i2} = 7\text{ °C}$

Najveći kapacitet isparivača rashladnog uređaja za ispitivanje:  $\Phi_{iMAX} = 500\text{ kW}$

Najmanji kapacitet isparivača rashladnog uređaja za ispitivanje:  $\Phi_{iMIN} = 50\text{ kW}$

Specifični toplinski kapacitet vode:  $c_w = 4,2\text{ kJ/(kgK)}$

Gustoća vode:  $\rho_w = 1000\text{ kg/m}^3$

Najveći maseni protok vode kroz isparivač:

$$\dot{m}_{iMAX} = \frac{\Phi_{iMAX}}{c_w \cdot (\vartheta_{i1} - \vartheta_{i2})} = \frac{500}{4,2 \cdot (12 - 7)} = 23,81\text{ kg/s} \quad (3)$$

Najmanji maseni protok vode kroz isparivač:

$$\dot{m}_{iMIN} = \frac{\Phi_{iMIN}}{c_w \cdot (\vartheta_{i1} - \vartheta_{i2})} = \frac{50}{4,2 \cdot (12 - 7)} = 2,38 \text{ kg/s} \quad (4)$$

Najveći volumni protok vode kroz isparivač:

$$\dot{V}_{iMAX} = \frac{\dot{m}_{iMAX}}{\rho_w} = \frac{23,81}{1000} = 0,024 \text{ m}^3/\text{s} \quad (5)$$

Najmanji volumni protok vode kroz isparivač:

$$\dot{V}_{iMIN} = \frac{\dot{m}_{iMIN}}{\rho_w} = \frac{2,38}{1000} = 0,002 \text{ m}^3/\text{s} \quad (6)$$

Pretpostavljena brzina strujanja vode kroz cijevi:  $w = 1,5 \text{ m/s}$

Cjevovod se dimenzionira prema najvećem protoku, stoga potrebna površina poprečnog presjeka cijevi iznosi:

$$A_{ipotr} = \frac{\dot{V}_{iMAX}}{w} = \frac{0,024}{1,5} = 0,016 \text{ m}^2 \quad (7)$$

Potrebni unutarnji promjer cijevi:

$$d_{ipotr} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{ipotr}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,016}{\pi}} = 0,143 \text{ m} \equiv 143 \text{ mm} \quad (8)$$

Odabrani nazivni promjer cijevi prema [11]: DN 150, Ø 168,3 x 4,5 mm, bešavna čelična cijev

Unutarnji promjer cijevi:  $d_i = 159,3 \text{ mm} \equiv 0,1593 \text{ m}$

Stvarna brzina strujanja vode pri najvećem protoku:

$$w_{MAX} = \frac{\dot{V}_{iMAX}}{A_i} = \frac{\dot{V}_{iMAX}}{\frac{d_i^2 \cdot \pi}{4}} = \frac{0,024}{\frac{0,1593^2 \cdot \pi}{4}} = 1,2 \text{ m/s} \quad (9)$$

Stvarna brzina strujanja vode pri najmanjem protoku:

$$w_{MIN} = \frac{\dot{V}_{iMIN}}{A_i} = \frac{\dot{V}_{iMIN}}{\frac{d_i^2 \cdot \pi}{4}} = \frac{0,002}{\frac{0,1593^2 \cdot \pi}{4}} = 0,1 \text{ m/s} \quad (10)$$

Stvarne brzine strujanja vode u cjevovodu unutar su granica preporučenih brzina strujanja.

### 5.2.1.1. Proračun pada tlaka isparivačkog kruga

Proračun pada tlaka napravljen je prema skripti Vladimira Koharića, *Uvod u projektiranje cjevovoda* [12].

Ukupna duljina cjevovoda:  $L = 10 \text{ m}$

Unutarnji promjer cijevi:  $d = 0,1593 \text{ m}$

Kinematička viskoznost vode za  $10^\circ\text{C}$  prema [13]:  $\nu = 1,308 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Najveća brzina strujanja vode:  $w_{MAX} = 1,2 \text{ m/s}$

Apsolutna hrapavost cijevi prema [10]:  $k = 0,045 \text{ mm}$

Reynoldsova značajka:

$$Re = \frac{d \cdot w_{MAX}}{\nu} = \frac{0,1593 \cdot 1,2}{1,308 \cdot 10^{-6}} = 146146,8 > 2320 \quad (11)$$

Obzirom da je Reynoldsova značajka veća od 2320, strujanje je turbulentno.

Relativna hrapavost:

$$\varepsilon = \frac{k}{d} = \frac{0,045}{159,3} = 0,00028 \quad (12)$$

Korištenjem izraza za turbulentno strujanje u prijelaznom području izračunat je koeficijent trenja:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log\left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,71}\right) \quad (13)$$

Iterativnim postupkom dobiveno je:  $\lambda = 0,018$

Pad tlaka uslijed trenja:

$$\Delta p_{tr} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho_w \cdot w_{MAX}^2}{2} = 0,018 \cdot \frac{10}{0,1593} \cdot \frac{1000 \cdot 1,2^2}{2} = 813 \text{ Pa} \quad (14)$$

Pad tlaka u isparivaču prema katalogu tvrtke „Frigo Plus“ [9] iznosi:

$$\Delta p_{isp} = 65687,7 \text{ Pa} \quad (15)$$

Ostali padovi tlaka ovog kruga su zanemarivi u odnosu na pad tlaka u isparivaču te stoga ukupni pad tlaka iznosi:

$$\Delta p_{uk} = \Delta p_{tr} + \Delta p_{isp} = 813 + 65687,7 = 66500,7 \text{ Pa} \quad (16)$$

### 5.2.2. Cjevovod od akumulacijskog spremnika do kondenzatora – vodom hlađeni rashladnik kapljevine

Ovaj cjevovod u upotrebi je isključivo kod ispitivanja vodom hlađenih rashladnika vode. Cjevovodom od spremnika vode do kondenzatora struji voda koja se u kondenzatoru zagrijava s  $\vartheta_{k1} = 30 \text{ °C}$  na  $\vartheta_{k2} = 35 \text{ °C}$  te se vraća u spremnik (prema normi HRN EN 14511 [7]).

Ulazna temperatura vode u kondenzator:  $\vartheta_{k1} = 30 \text{ °C}$

Izlazna temperatura vode iz kondenzatora:  $\vartheta_{k2} = 35 \text{ °C}$

Najveći kapacitet kondenzatora rashladnog uređaja za ispitivanje:  $\Phi_{kMAX} = 650 \text{ kW}$

Najmanji kapacitet kondenzatora rashladnog uređaja za ispitivanje:  $\Phi_{kMIN} = 65 \text{ kW}$

Specifični toplinski kapacitet vode:  $c_w = 4,2 \text{ kJ/(kgK)}$

Gustoća vode:  $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$

Najveći maseni protok vode kroz kondenzator:

$$\dot{m}_{kMAX} = \frac{\Phi_{kMAX}}{c_w \cdot (\vartheta_{k2} - \vartheta_{k1})} = \frac{650}{4,2 \cdot (35 - 30)} = 30,95 \text{ kg/s} \quad (17)$$

Najmanji maseni protok vode kroz kondenzator:

$$\dot{m}_{kMIN} = \frac{\Phi_{kMIN}}{c_w \cdot (\vartheta_{k2} - \vartheta_{k1})} = \frac{65}{4,2 \cdot (35 - 30)} = 3,1 \text{ kg/s} \quad (18)$$

Najveći volumni protok vode kroz kondenzator:

$$\dot{V}_{kMAX} = \frac{\dot{m}_{kMAX}}{\rho_w} = \frac{30,95}{1000} = 0,031 \text{ m}^3/\text{s} \quad (19)$$

Najmanji volumni protok vode kroz kondenzator:

$$\dot{V}_{kMIN} = \frac{\dot{m}_{kMIN}}{\rho_w} = \frac{3,1}{1000} = 0,003 \text{ m}^3/\text{s} \quad (20)$$

Pretpostavljena brzina strujanja vode kroz cijevi:  $w = 1,5 \text{ m/s}$

Cjevovod se dimensionira prema najvećem protoku, stoga potrebna površina poprečnog presjeka cijevi iznosi:

$$A_{kpotr} = \frac{\dot{V}_{kMAX}}{w} = \frac{0,031}{1,5} = 0,021 \text{ m}^2 \quad (21)$$

Potrebni unutarnji promjer cijevi:

$$d_{kpotr} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{kpotr}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,021}{\pi}} = 0,164 \text{ m} \equiv 164 \text{ mm} \quad (22)$$

Odabrani nazivni promjer cijevi prema [11]: DN 150, Ø 168,3 x 4,5 mm, bešavna čelična cijev

Unutarnji promjer cijevi:  $d_k = 159,3 \text{ mm} \equiv 0,1593 \text{ m}$

Stvarna brzina strujanja vode pri najvećem protoku:

$$w_{MAX} = \frac{\dot{V}_{kMAX}}{A_k} = \frac{\dot{V}_{kMAX}}{\frac{d_k^2 \cdot \pi}{4}} = \frac{0,031}{\frac{0,1593^2 \cdot \pi}{4}} = 1,56 \text{ m/s} \quad (23)$$

Stvarna brzina strujanja vode pri najmanjem protoku:

$$w_{MIN} = \frac{\dot{V}_{kMIN}}{A_k} = \frac{\dot{V}_{kMIN}}{\frac{d_k^2 \cdot \pi}{4}} = \frac{0,003}{\frac{0,1593^2 \cdot \pi}{4}} = 0,15 \text{ m/s} \quad (24)$$

Odabrani promjer cijevi manji je od potrebnog. Stoga je stvarna brzina strujanja vode u cjevovodu pri najvećem protoku malo veća od dopuštenih 1,5 m/s. No kako se radi o vrlo maloj razlici, odabrani cjevovod neće se mijenjati. Iz toga slijedi da je ovaj cjevovod jednakih dimenzija kao cjevovod u isparivačkom krugu čime je izvedba znatno pojednostavljena.

#### 5.2.2.1. Proračun pada tlaka kondenzatorskog kruga

Proračun pada tlaka napravljen je prema skripti Vladimira Koharića, *Uvod u projektiranje cjevovoda* [12].

Ukupna duljina cjevovoda:  $L = 10 \text{ m}$

Unutarnji promjer cijevi:  $d = 0,1593 \text{ m}$

Kinematička viskoznost vode za 30 °C prema [13]:  $\nu = 0,801 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Najveća brzina strujanja vode:  $w_{MAX} = 1,56 \text{ m/s}$

Apsolutna hrapavost cijevi prema [10]:  $k = 0,045 \text{ mm}$

Reynoldsova značajka:

$$Re = \frac{d \cdot w_{MAX}}{\nu} = \frac{0,2065 \cdot 1,56}{0,801 \cdot 10^{-6}} = 402172,3 > 2320 \quad (25)$$

Obzirom da je Reynoldsova značajka veća od 2320, strujanje je turbulentno.

Relativna hrapavost:

$$\varepsilon = \frac{k}{d} = \frac{0,045}{159,3} = 0,0003 \quad (26)$$

Korištenjem izraza za turbulentno strujanje u prijelaznom području izračunat je koeficijent trenja:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left( \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,71} \right) \quad (27)$$

Iterativnim postupkom dobiveno je:  $\lambda = 0,017$

Pad tlaka uslijed trenja:

$$\Delta p_{tr} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho_w \cdot w_{MAX}^2}{2} = 0,017 \cdot \frac{10}{0,2065} \cdot \frac{1000 \cdot 1,56^2}{2} = 1001,7 \text{ Pa} \quad (28)$$

Pad tlaka u kondenzatoru prema katalogu tvrtke „Frigo Plus“ [9] iznosi:

$$\Delta p_{kond} = 63138,7 \text{ Pa} \quad (29)$$

Ostali padovi tlaka ovog kruga su zanemarivi u odnosu na pad tlaka u kondenzatoru te stoga ukupni pad tlaka iznosi:

$$\Delta p_{uk} = \Delta p_{tr} + \Delta p_{kond} = 1001,7 + 63138,7 = 64140,4 \text{ Pa} \quad (30)$$



### 5.2.3. Cjevovod od akumulacijskog spremnika do dizalice topline

Cjevovodom od akumulacijskog spremnika do dizalice topline struji voda, koja se kod ispitivanja vodom hlađenih rashladnika vode hladi s  $\vartheta_{dt1} = 12\text{ °C}$  na  $\vartheta_{dt2} = 7\text{ °C}$  te se ohlađena vraća u spremnik, dok se kod zrakom hlađenih rashladnih uređaja voda u dizalici topline zagrijava s  $\vartheta_{dt1} = 30\text{ °C}$  na  $\vartheta_{dt2} = 35\text{ °C}$ . Obzirom da je kod ispitivanja zrakom hlađenih rashladnika vode potrebno dovoditi više toplinskog toka spremniku nego što ga je potrebno odvoditi kod vodom hlađenih rashladnika, proračun cjevovoda napravljen je upravo za taj slučaj.

Ulazna temperatura vode u dizalicu topline:  $\vartheta_{dt1} = 30\text{ °C}$

Izlazna temperatura vode iz dizalice topline:  $\vartheta_{dt2} = 35\text{ °C}$

Ogrjevni kapacitet dizalice topline:  $\Phi_{dt} = 505\text{ kW}$

Specifični toplinski kapacitet vode:  $c_w = 4,2\text{ kJ/(kgK)}$

Gustoća vode:  $\rho_w = 1000\text{ kg/m}^3$

Maseni protok vode kroz dizalicu topline:

$$\dot{m}_{dt} = \frac{\Phi_{dt}}{c_w \cdot (\vartheta_{dt2} - \vartheta_{dt1})} = \frac{505}{4,2 \cdot (35 - 30)} = 24,05\text{ kg/s} \quad (31)$$

Volumni protok vode kroz dizalicu topline:

$$\dot{V}_{dt} = \frac{\dot{m}_{dt}}{\rho_w} = \frac{24,05}{1000} = 0,024\text{ m}^3/\text{s} \quad (32)$$

Pretpostavljena brzina strujanja vode kroz cijevi:  $w = 1,5\text{ m/s}$

Potrebna površina poprečnog presjeka cijevi:

$$A_{dtpotr} = \frac{\dot{V}_{dt}}{w} = \frac{0,024}{1,5} = 0,016\text{ m}^2 \quad (33)$$

Potrebni promjer cijevi:

$$d_{dtpotr} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{dtpotr}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,016}{\pi}} = 0,143\text{ m} \equiv 143\text{ mm} \quad (34)$$

Odabrani nazivni promjer cijevi prema [11]: DN 150, Ø 168,3 x 4,5 mm, bešavna čelična cijev

Unutarnji promjer cijevi:  $d_{dt} = 159,3 \text{ mm} \equiv 0,1593 \text{ m}$

Stvarna brzina strujanja vode:

$$w = \frac{\dot{V}_{dt}}{A_{dt}} = \frac{\dot{V}_{dt}}{\frac{d_{dt}^2 \cdot \pi}{4}} = \frac{0,024}{\frac{0,1593^2 \cdot \pi}{4}} = 1,2 \text{ m/s} \quad (35)$$

Stvarna brzina strujanja vode u ovom cjevovodu unutar je granica preporučenih brzina strujanja.

#### 5.2.3.1. Proračun pada tlaka (akumulacijski spremnik vode – dizalica topline)

Proračun pada tlaka napravljen je prema skripti Vladimira Koharićća, *Uvod u projektiranje cjevovoda* [12].

Ukupna duljina cjevovoda:  $L = 10 \text{ m}$

Unutarnji promjer cijevi:  $d = 0,1593 \text{ m}$

Kinematička viskoznost vode za  $10^\circ\text{C}$  prema [13]:  $\nu = 1,308 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Brzina strujanja vode:  $w = 1,2 \text{ m/s}$

Apsolutna hrapavost cijevi prema [10]:  $k = 0,045 \text{ mm}$

Reynoldsova značajka:

$$Re = \frac{d \cdot w}{\nu} = \frac{0,1593 \cdot 1,2}{1,308 \cdot 10^{-6}} = 146146,8 > 2320 \quad (36)$$

Obzirom da je Reynoldsova značajka veća od 2320, strujanje je turbulentno.

Relativna hrapavost:

$$\varepsilon = \frac{k}{d} = \frac{0,045}{159,3} = 0,00028 \quad (37)$$

Korištenjem izraza za turbulentno strujanje u prijelaznom području izračunat je koeficijent trenja:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log\left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,71}\right) \quad (38)$$

Iterativnim postupkom dobiveno je:  $\lambda = 0,018$

Pad tlaka uslijed trenja:

$$\Delta p_{tr} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho_w \cdot w^2}{2} = 0,018 \cdot \frac{10}{0,1593} \cdot \frac{1000 \cdot 1,2^2}{2} = 813 \text{ Pa} \quad (39)$$

Maksimalni pad tlaka u dizalici topline prema katalogu tvrtke „Carrier“ [14]:

$$\Delta p_{dt} = 72100 \text{ Pa} \quad (40)$$

Ostali padovi tlaka ovog kruga su zanemarivi u odnosu na pad tlaka u dizalici topline te stoga ukupni pad tlaka iznosi:

$$\Delta p_{uk} = \Delta p_{tr} + \Delta p_{isp} = 813 + 72100 = 72913 \text{ Pa} \quad (41)$$

### 5.3. Cirkulacijske pumpe

Sve pumpe, koje se nalaze u sklopu ispitne stanice, imaju mogućnost frekvencijske regulacije broja okretaja, čime je omogućeno uspostavljanje stabilnog protoka kroz isparivač i kondenzator ispitivanog rashladnog uređaja.

#### 5.3.1. Cirkulacijska pumpa isparivačkog kruga

U ovom krugu pumpa ima zadaću svladati sve lokalne padove tlaka te pad tlaka uslijed trenja u cjevovodu od akumulacijskog spremnika do isparivača. Najveći udio ukupnog pada tlaka odnosi se na pad tlaka u isparivaču. Korištenjem programa „Grundfos product selection“ [15] odabrana je pumpa „GRUNDFOS“ TPE 150-100/4 A-F-A-BAQE.

ULAZNI PODACI:

- volumni protok vode:  $\dot{V}_{iMAX} = 0,024 \text{ m}^3/\text{s} \equiv 86,4 \text{ m}^3/\text{h}$
- ukupni pad tlaka:  $\Delta p_{uk} = 66500,7 \text{ Pa}$

## ODABRANA PUMPA:

- „GRUNDFOS“ TPE 150-100/4 A-F-A-BAQE (Slika 8.)
  - Nazivna snaga: 5,5 kW
  - Nazivni protok: 200 m<sup>3</sup>/h
  - Brzina vrtnje: 240-1750 rpm
  - Frekvencija glavne mreže: 50 Hz
  - Nazivni napon: 3 x 380 - 480 V
  - Nazivna struja: 11,0-9,00 A
  - Cijevni priključak: DN 150
  - Ugradbena duljina: 800 mm
  - Učinkovitost: 89,6%



Slika 8. Pumpa „GRUNDFOS“ TPE 150-100/4 A-F-A-BAQE [16]

### 5.3.2. Cirkulacijska pumpa kondenzatorskog kruga

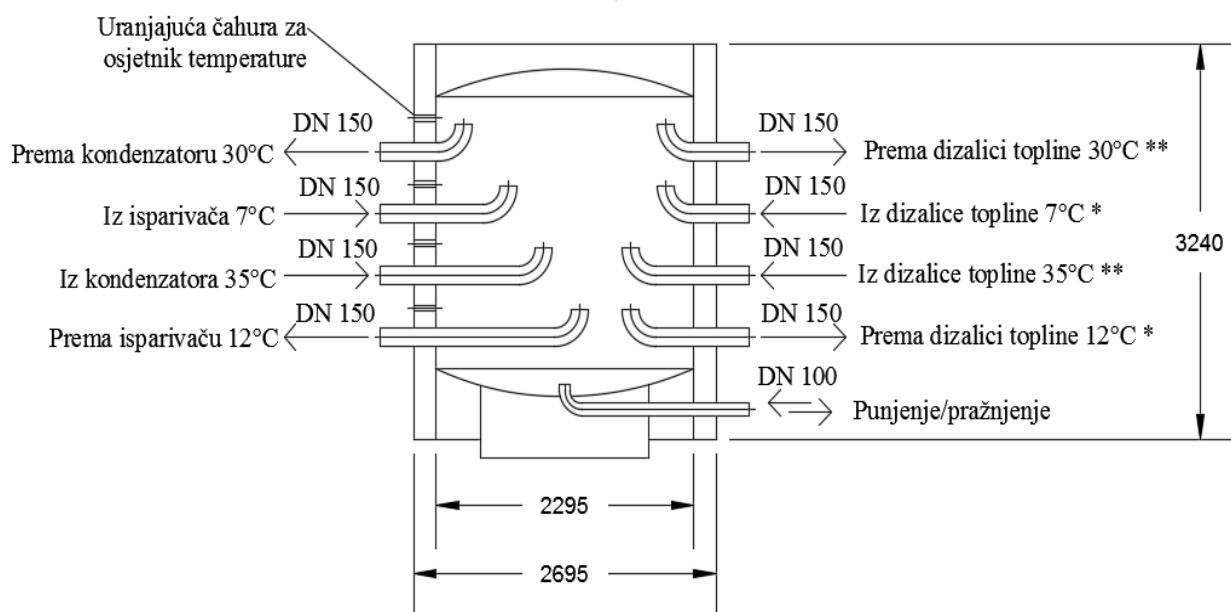
U ovom krugu pumpa ima zadaću svladati sve lokalne padove tlaka te pad tlaka uslijed trenja u cjevovodu od akumulacijskog spremnika do kondenzatora. Najveći udio ukupnog pada tlaka odnosi se na pad tlaka u kondenzatoru. Korištenjem programa *Grundfos product selection* [15] odabrana je pumpa jednaka onoj u isparivačkom krugu: „GRUNDFOS“ TPE 150-100/4 A-F-A-BAQE. Tehnički podaci ove pumpe mogu se pronaći u točki 5.3.1. ovog rada.

### 5.3.3. Cirkulacijska pumpa u krugu dizalice topline

U ovom krugu pumpa ima zadaću svladati sve lokalne padove tlaka te pad tlaka uslijed trenja u cjevovodu od akumulacijskog spremnika do dizalice topline. Najveći udio ukupnog pada tlaka odnosi se na pad tlaka u dizalici topline. Korištenjem programa *Grundfos product selection* [15] odabrana je ista pumpa onoj koja se koristi u isparivačkom i kondenzatorskom krugu: „GRUNDFOS“ TPE 150-100/4 A-F-A-BAQE.

### 5.4. Akumulacijski spremnik vode

Akumulacijski spremnik vode smješten je u strojarnici pokraj ispitne prostorije. Njegova uloga je akumulacija toplinskog učina kondenzatora i rashladnog učina isparivača. Kada ispitujemo vodom hlađeni rashladni uređaj, temperatura vode u spremniku će rasti jer su u tom slučaju na spremnik spojeni i isparivač i kondenzator ispitivanog rashladnog uređaja, a obzirom da je kapacitet kondenzatora veći od kapaciteta isparivača za snagu kompresora, potrebno je hladiti vodu u spremniku. U suprotnom slučaju, kada ispitujemo zrakom hlađeni rashladnik vode, temperatura vode u spremniku će padati jer je u tom slučaju na spremnik spojen samo isparivač rashladnog uređaja. Stoga je na spremnik spojena dizalica topline, koja ima ulogu hlađenja vode pri ispitivanju vodom hlađenih rashladnika, dok kod zrakom hlađenih jedinica ona ima ulogu grijanja vode.



Slika 9. Shema akumulacijskog spremnika vode

Zbog velikih protoka vode pri ispitivanju rashladnika kapljevine kapaciteta 500 kW, odabran je čelični spremnik volumena  $10 \text{ m}^3$  (Slika 9.). Spremnik je obložen toplinskom izolacijom debljine 200 mm i opremljen je s četiri osjetnika temperature ravnomjerno raspoređenih po visini spremnika. Senzori temperature šalju informacije o temperaturnoj stratifikaciji spremnika glavnom upravljačkom sklopu, koji zatim prema potrebi uključuje i isključuje dizalicu topline.

#### TEHNIČKI PODACI ODABRANOG SPREMNIKA:

- Volumen:  $10 \text{ m}^3$
- Promjer tijela spremnika: 2295 mm
- Vanjski promjer: 2695 mm
- Ukupna visina: 3240 mm
- Priključci: DN 150
- Broj priključaka: 8 + 1 za punjenje i pražnjenje
- Toplinska izolacija: 200 mm

Na spremniku vode nalazi se devet priključaka za spajanje cjevovoda i postavljeni su kao što je prikazano na Slici 9. S lijeve strane nalaze se priključci namijenjeni spajanju na rashladni uređaj, dok se s desne strane nalaze priključci namijenjeni za spajanje dizalice topline. Također, na samom dnu s desne strane nalazi se priključak vode za punjenje i pražnjenje spremnika. Svi priključci nazivnog su promjera DN 150, osim priključka za punjenje i pražnjenje spremnika, koji je veličine DN100. Raspored (odozgo prema dole) priključaka s lijeve strane namijenjenih spajanju na ispitivani rashladni uređaj je sljedeći:

- 1) priključak polazne cijevi prema kondenzatoru,
- 2) priključak povratne cijevi iz isparivača,
- 3) priključak povratne cijevi iz kondenzatora,
- 4) priključak polazne cijevi prema isparivaču.

Ovakav raspored priključaka omogućuje najbolje miješanje vode u spremniku čime je omogućeno uspostavljanje traženih temperaturnih režima. S desne strane također se nalaze četiri priključka, no, za vrijeme ispitivanja rashladnog uređaja, samo dva su u upotrebi. Raspored spajanja cjevovoda od dizalice topline do spremnika ovisi o tome radi li se o zrakom ili vodom hlađenom rashladniku vode. U slučaju ispitivanja zrakom hlađenih rashladnika vode u upotrebi su prvi (skroz gornji) i treći priključak. Na prvi priključak spojen je polazni cjevovod prema dizalici topline dok je na treći priključak spojen povratni cjevovod od dizalice topline. Pri ispitivanju vodom hlađenih rashladnika vode u upotrebi su drugi i četvrti priključak. U tom slučaju na drugi priključak spojen je povratni cjevovod od dizalice topline, dok je na četvrti priključak spojen polazni cjevovod prema dizalici topline.

### **5.5. Dizalica topline zrak - voda**

Ovisno o tome radi li se o vodom ili zrakom hlađenom rashladniku vode, bit će potrebno hladiti, odnosno grijati vodu u spremniku. Kako ne bi bilo potrebno koristiti dva zasebna sustava, jedan za grijanje, a drugi za hlađenje, ove procese obavljat će dizalica topline. Obzirom da se pri ispitivanju zrakom hlađenih rashladnika kapljevine odvodi 500 kW toplinskog toka iz akumulacijskog spremnika, isto toliko toplinskog toka potrebno je dovoditi spremniku kako se temperatura vode u njemu ne bi spustila ispod donje granične temperature. Stoga je dizalica topline dimenzionirana upravo prema ovom zahtjevu, a ogrjevni kapacitet odabrane dizalice topline iznosi 505 kW.

Dizalica topline odabrana je prema katalogu tvrtke „Carrier“ [14], a radi se o dizalici topline „Carrier“ 30RQ - 462, čiji nazivni rashladni kapacitet iznosi 430 kW. Dizalica topline smještena je na krovu strojarnice s južne strane ispitne prostorije i povezana je cjevovodom na akumulacijski spremnik vode, koji se nalazi u strojarnici. Ovaj cjevovod se ovisno tipu rashladnika vode za ispitivanje pravilno spaja na akumulacijski spremnik kao što je opisano u prethodnoj točki (5.4.) ovog rada.

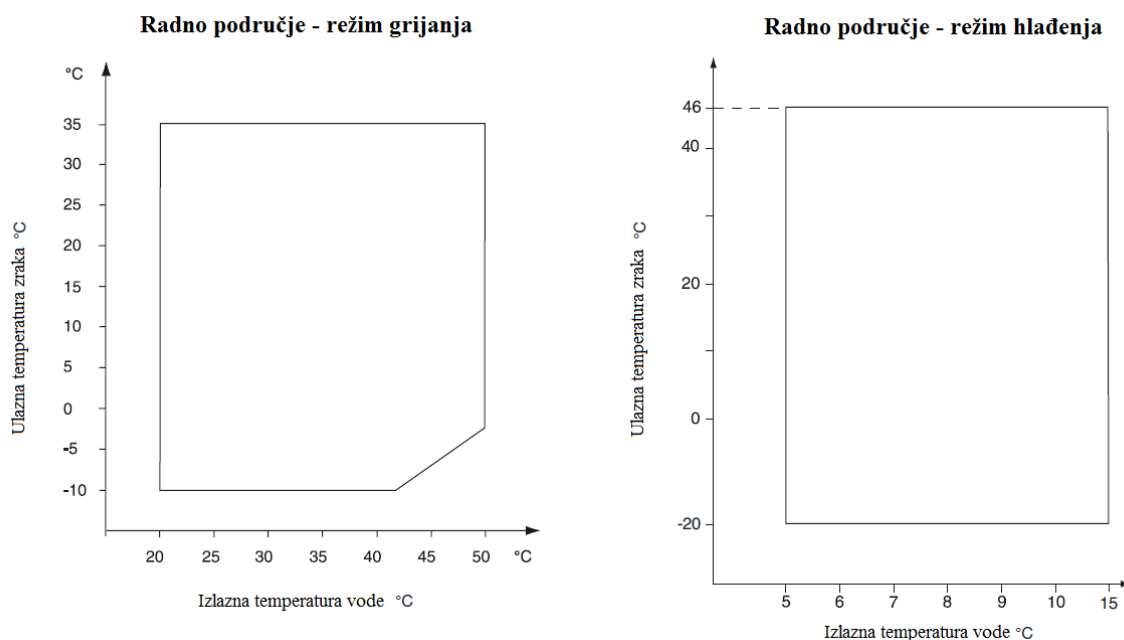


Slika 10. Dizalica topline kao proizvod „Carrier“ 30 RQ [14]

#### TEHNIČKE SPECIFIKACIJE ODABRANE DIZALICE TOPLINE ZRAK – VODA:

- „Carrier“ 30RQ – 462
  - Nazivni rashladni kapacitet: 430 kW
  - Nazivni ogrjevni kapacitet: 505 kW
  - Ukupna ulazna snaga (režim hlađenja): 165 kW
  - Ukupna ulazna snaga (režim grijanja): 180 kW
  - Radna tvar: R410A
  - Kompresor: hermetički spiralni kompresor
  - Broj kompresora: 4
  - Priključci: DN 150
  - Izmjenjivač na zračnoj strani: bakrene cijevi s lamelama
  - Izmjenjivač na strani vode: „shell & tube“
  - Minimalni protok vode: 6,1 l/s
  - Maksimalni protok vode: 31,1 l/s
  - Napajanje: V-ph-Hz 400-3-50
  - Pad tlaka u izmjenjivaču na strani vode: 62,7 kPa





Slika 11. Radno područje dizalice topline [14]: a) režim grijanja; b) režim hlađenja

Kako bi se osigurao pouzdan rad dizalice topline, a samim time i ispitne stanice, vrlo važno je provjeriti zadovoljavaju li okolišni uvjeti radno područje dizalice topline. Na Slici 11. prikazana su radna područja odabrane dizalice topline za režim grijanja i režim hlađenja. Na slici je vidljivo da u režimu grijanja minimalna temperatura zraka koja ulazi u kondenzator smije iznositi  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a maksimalna  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dok u režimu hlađenja minimalna temperatura zraka koja ulazi u kondenzator smije iznositi  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a maksimalna  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na temelju navedenog zaključuje se da će ispitivanje biti moguće provoditi u bilo koje vrijeme godine obzirom da radno područje odabrane dizalice topline obuhvaća gotovo sve okolišne uvjete, od najtoplijih pa do onih najhladnijih.

## 5.6. Mjerači protoka

Za određivanje kapaciteta rashladnika kapljevine potrebno je na polaznim cjevovodima od spremnika prema isparivaču i kondenzatoru postaviti vrlo precizne mjerače protoka. Stoga je korištenjem aplikacije „PIA Life Cycle Portal“ [17] odabran elektromagnetski senzor protoka „SIEMENS“ SITRANS F M MAG 3100 P (Slika 12.). Obzirom da se radi o istim dimenzijama cijevi, ovaj protokomjer postavljen je i na isparivački i na kondenzatorski krug.



Slika 12. „SIEMENS“ SITRANS F M MAG 3100 P [18]

#### TEHNIČKI PODACI ODABRANOG SENZORA PROTOKA:

- „SIEMENS“ SITRANS F M MAG 3100 P
  - Metoda mjerenja: elektromagnetska
  - Mjerno područje brzina: 0 ... 10 m/s
  - Priključak: DN 150
  - Maksimalni tlak: 40 bar
  - Temperatura okoliša: -40 ... 100 °C
  - Temperatura medija: -20 ... 150 °C
  - Materijal: ugljični čelik
  - Preciznost: 0,2% ± 1 mm/s
  - Ugradbena duljina: 300 mm

Elektromagnetsko mjerenje protoka temelji se na Faradey-ovom zakonu. Prema tom zakonu napon se inducira u vodljivom mediju koji se giba u magnetnom polju. Senzor protoka registrira upravo taj napon, koji je proporcionalan brzini protoka medija. Ulogu pojačavanja tog signala te pretvaranja u standardne strujne ili impulsne izlaze ima transponder. Stoga je uz senzor protoka potrebno pravilno odabrati i transponder, koji će slati podatke o protoku na glavno računalo za regulaciju čitavom ispitnom stanicom. Pri odabiru odašiljača također je korištena aplikacija „PIA Life Cycle Portal“ [17] pomoću koje je odabran transponder „SIEMENS“ SITRANS F M MAG 6000 I (Slika 13.).

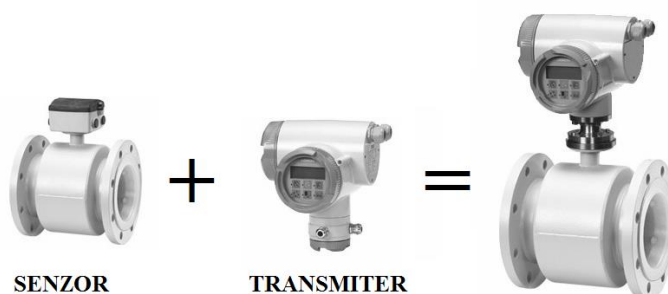


Slika 13. „SIEMENS“ SITRANS F M MAG 6000 I [18]

#### TEHNIČKI PODACI ODABRANOG TRANSMITERA:

- „SIEMENS“ SITRANS F M MAG 6000 I
  - Preciznost:  $0,2\% \pm 1\text{mm/s}$
  - Zaslون: numerički LCD s pozadinskim svjetlom
  - Ulazi: 1 digitalni ulaz, 1 ulaz za struju
  - Izlaz: 1 frekvencijski/impulsni ulaz, 1 relejni izlaz
  - Napajanje: 18-19 V DC / 115-230 AC
  - Temperatura okoliša:  $-20 \dots 60\text{ }^{\circ}\text{C}$

Na Slici 14. prikazan je način spajanja odabranog senzora i transmitera. U ovom obliku protokomjer ima mogućnost prikupljanja podataka i slanja istih prema akvizicijskom sustavu.



Slika 14. Način spajanja odabranog senzora protoka i transmitera [18]

## 5.7. Troputni miješajući ventili

Regulacija temperature polazne vode prema isparivaču i kondenzatoru ispitivanog rashladnog uređaja vrši se elektromotornim troputnim ventilima. Oni imaju ulogu miješanja vode iz povratnog voda s polaznom vodom prema isparivaču ili kondenzatoru. Ovisno o temperaturi vode nakon troputnog ventila, miješaju se polazna i povratna voda u željenom omjeru čime se ostvaruje traženi temperaturni režim. Na primjer, ako se promatra kondenzatorski krug, gdje je potrebno ostvariti temperaturni režim vode 30/35 °C, troputni ventil miješat će vodu iz povrata s polaznom vodom ukoliko je temperatura vode na polazu prije ventila niža od 30 °C. Također, na isti način funkcionira troputni ventil u slučaju isparivačkog kruga, gdje je potrebno uspostaviti temperaturni režim 7/12 °C.

Da bi ispitivanje rashladnika kapljevine bilo ispravno, potrebna je vrlo precizna regulacija temperature bez velikih odstupanja. Stoga je prema dimenzijama cjevovoda isparivačkog i kondenzatorskog kruga odabran troputni miješajući ventil tvrtke „Danfoss“, tip VF 3 [19] zajedno s pogonom za regulaciju AME 685 [20] (Slika 13.).



Slika 15. Regulacijski ventil Danfoss VF 3 s ugrađenim aktuatorom AME 685 [21]

## TEHNIČKI PODACI ODABRANOG VENTILA ZA REGULACIJU TEMPERATURE:

- „Danfoss“ VF 3
  - Temperaturno radno područje: -10 ... 200 °C
  - Priključak: DN 150
  - $k_{vs}$ : 320 m<sup>3</sup>/h
  - Broj ulaza/izlaza: 3
  - Miješajući ventila: da
  - Razdjelni ventil: ne
  - Karakteristika miješanja: linearna
  - Nazivni radni tlak: PN 16
  - Hod: 40 mm
  - Regulacijsko područje: 100:1
  - Faktor kavitacije: 0,5

## TEHNIČKI PODACI ODABRANOG POGONA ZA REGULACIJU TEMPERATURE:

- „Danfoss“ AME 685
  - Dopuštena temperatura okoliša: -0 ... 50 °C
  - Napajanje: 24 V, 50 Hz/60 Hz
  - Tip regulacije: modulirajuća
  - Maksimalna sila na vretenu: 5000 N
  - Hod vretena: 80 mm
  - Brzina zatvaranja: 2,7 mm/s
  - Regulacijski ulazni signal: 0 – 10 V; 0 – 20 mA
  - Izlazni signal: 0 – 10 V; 0 – 20 mA

## 5.8. Regulacijske žaluzine

Regulacijske žaluzine imaju ulogu osigurati traženu temperaturu zraka (35 °C) na ulazu u kondenzator zrakom hlađenog rashladnika kapljevine. Žaluzine su smještene na oba bočna zida duž ispitne prostorije te na stropu. Ovisno o temperaturi u prostoriji i temperaturi vanjskog zraka one se otvaraju ili zatvaraju. Žaluzine su dimenzionirane za slučaj ispitivanja rashladnog uređaja maksimalnog kapaciteta 500 kW uz graničnu temperaturu okolišnjeg zraka 35 °C. U tom slučaju potrebno je odisavati sav zrak koji izlazi iz kondenzatora, dok će se u kondenzator usisavati stopostotni vanjski zrak.

Maksimalni kapacitet kondenzatora ispitivanog rashladnog uređaja:  $\Phi_{kMAX} = 650 \text{ kW}$

Pretpostavljena temperatura zraka na izlazu iz kondenzatora:  $\vartheta_{k2} = 40 \text{ °C}$

Temperatura zraka na ulazu u kondenzator:  $\vartheta_{k1} = 35 \text{ °C}$

Temperatura okolišnjeg zraka (granični slučaj):  $\vartheta_{ok} = 35 \text{ °C}$

Gustoća zraka za 35 °C prema [13]:  $\rho_{zr} = 1,15 \text{ kg/m}^3$

Specifični toplinski kapacitet zraka za 35 °C prema [13]:  $c_p = 1,005 \text{ kJ/(kgK)}$

Maksimalni protok zraka kroz kondenzator:

$$\dot{V}_{zrMAX} = \frac{\Phi_{kMAX}}{\rho_{zr} \cdot c_p \cdot (\vartheta_{k2} - \vartheta_{k1})} = \frac{650}{1,15 \cdot 1,005 \cdot (40 - 35)} = 112,5 \text{ m}^3/\text{s} \quad (42)$$

Pretpostavljena brzina strujanja zraka:  $w = 2,5 \text{ m/s}$

Potrebna površina žaluzina na bočnim zidovima za usis zraka:

$$A_{žpotr} = \frac{\dot{V}_{zrMAX}}{w} = \frac{112,5}{2,5} = 45 \text{ m}^2 \quad (43)$$

Za bočne zidove, prema katalogu tvrtke „Klimaoprema d.d.“ [22], odabrane su aluminijske regulacijske žaluzine tip ARZ, nestandardnih dimenzija 2400 x 2010 mm. Potrebno je smjestiti po pet komada ovih žaluzina na oba bočna zida. Za stropni zid, također su odabrane aluminijske regulacijske žaluzine tip ARZ, nestandardnih dimenzija 2400 x 2010 mm, koje su postavljene na strop u dva reda po pet komada.

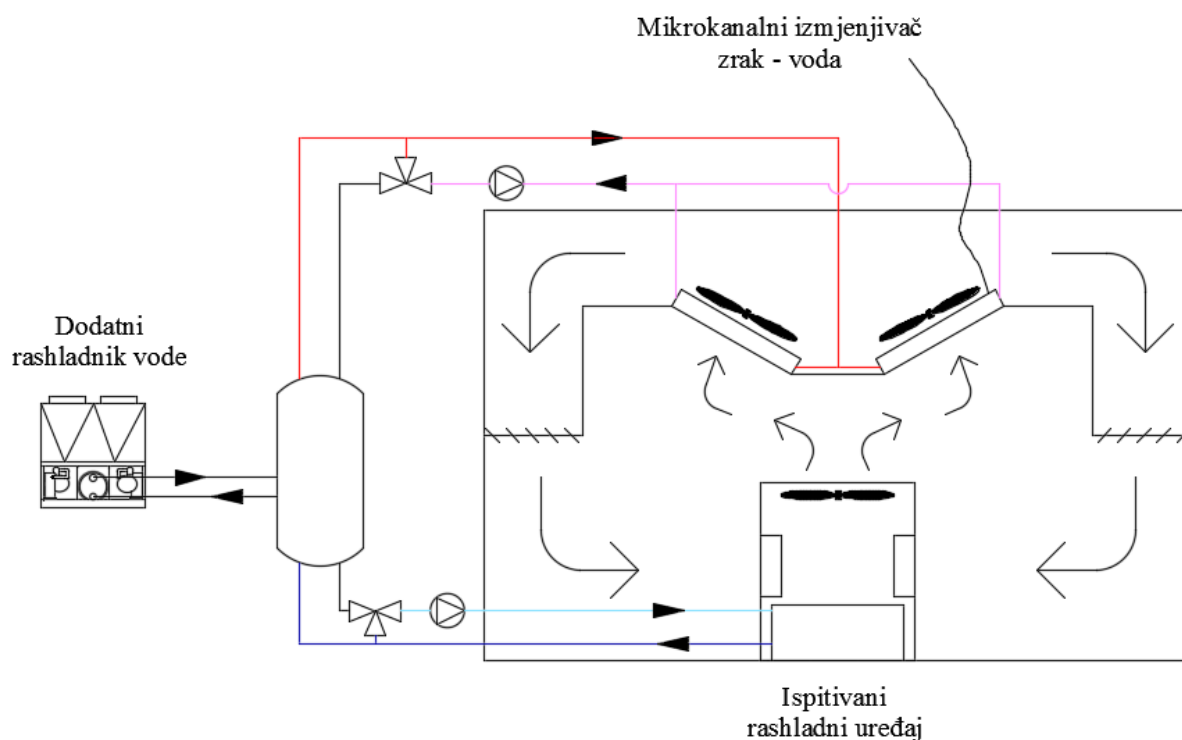


*Slika 16. Aluminijska regulacijska žaluzina kao proizvod „Klimaoprema“ ARZ [22]*

Aluminijska regulacijska žaluzina (Slika 16.) izrađena je od ekstrudiranih aluminijskih profila eloksiranih u prirodnoj boji aluminija. Posebno profilirana guma, ugrađena u rubove lamela, omogućuje odlično brtvljenje cijelog presjeka žaluzine. U ovom slučaju odabran je elektromotorni pogon čime je proces regulacije temperature zraka na ulazu u kondenzator automatiziran. Pogonski zupčanci i ležajevi izrađeni su od ABS-a. ARZ žaluzine mogu se koristiti za razlike tlaka do 600 Pa i temperature do 70 °C. Žaluzine su opremljene grijačima protiv smrzavanja kako bi se ispitivanje moglo provoditi i u zimskim okolišnim uvjetima.

## 6. PRINCIP RADA ISPITNE MJERNE STANICE – VERZIJA 2

Za vrijeme pisanja ovog rada postojale su brojne ideje o tome kako bi ispitna mjerna stanica za rashladnike kapljevina mogla izgledati. No nakon napravljenih proračuna, velik dio njih je isključen. Neke zamisli jednostavno nije bilo moguće izvesti, dok neke nisu bile financijski prihvatljive. U završnoj fazi pisanja ovog rada razvila se još jedna moguća verzija izvedbe ispitne stanice, vrlo slična opisanoj izvedbi u prethodnom poglavlju, čiji princip rada je opisan u nastavku te su dimenzionirane i odabrane njene osnovne komponente.



Slika 17. Shema načina rada nove izvedbe ispitne stanice

Način rada nove izvedbe ispitne stanice u slučaju vodom hlađenih rashladnika kapljevine jednak je prvoj verziji, što znači da su i kondenzator i isparivač ispitivanog uređaja spojeni na akumulacijski spremnik vode te se korištenjem troputnih ventila reguliraju temperaturni režimi. Razlika postoji samo u slučaju ispitivanja zrakom hlađenih rashladnika kapljevine. Ideja je da se ispod stropa ispitne prostorije ugrade visokoučinkoviti mikrokanalni izmjenjivači topline zrak – voda, koji bi kod ispitivanja zrakom hlađenih rashladnika kapljevine preuzimali toplinski tok od zraka te ga predavali akumulacijskom spremniku vode kao što je prikazano na Slici 17. U tom slučaju iskorištavala bi se kompletna toplina kondenzacije rashladnog uređaja kao i kod



ispitivanja vodom hlađenih rashladnika kapljevine. Stoga bi temperatura vode u spremniku imala tendenciju rasta jer je kapacitet kondenzatora veći od kapaciteta isparivača za rad kompresora. Zrak bi se u izmjenjivačima hladio na temperaturu nižu od 35 °C te bi se kanalom uz bočne zidove odvodio nazad u ispitnu prostoriju i miješao s toplim zrakom iz prostorije. Na taj način osigurala bi se tražena temperatura zraka na ulazu u kondenzator od 35°C. Time je sustav djelomično racionaliziran jer nema potrebe za grijanjem spremnika, već samo za hlađenjem. To znači da je potrebno koristiti samo rashladnik vode, koji za razliku od dizalice topline korištene u prethodnoj verziji ispitne stanice, mora imati puno manji kapacitet (približno 150 kW). Važna komponenta ovakvog sustava su visokoučinkoviti mikrokanalni izmjenjivači topline s ventilatorima, koji imaju mogućnost preuzimanja čitave topline kondenzacije rashladnog uređaja.

## 7. DIMENZIONIRANJE KOMPONENTI ISPITNE MJERNE STANICE – VERZIJA 2

U nastavku su dimenzionirane sve nove komponente ispitne stanice (lamelni izmjenjivači topline s mikrokanalima, ventilatori, dodatni rashladnik vode te cjevovod i pumpa za dodatni rashladnik vode). Ostale komponente već su opisane i proračunate u prethodnoj izvedbi ispitne stanice te stoga nema potreba za ponovnim dimenzioniranjem istih.

### 7.1. Lamelni izmjenjivači topline s mikrokanalima

Lamelni izmjenjivač topline s mikrokanalima (eng. Microchannel Coil Heat Exchanger, akronim MCHX) je unakrsni izmjenjivač topline između zraka i radnog medija, koji se po prvi put pojavio u funkciji kondenzatora rashladnika vode početkom 90-tih godina. Ovi izmjenjivači koriste tehnologiju cijevi s više usporednih otvora za prolaz radnog medija (Slika 18.). Danas se u tehnici grijanja, klimatizacije i ventilacije standardno ugrađuju u rashladnike vode i dizalice topline kao kondenzatori, odnosno isparivači. Za razliku od cijevnog lamelnog izmjenjivača topline, cijela konstrukcija, koja uključuje lamele, ravne cijevi s više usporednih kanala te sabirni i razdjelni kolektor, izrađuje se iz legure aluminija, što ovu izvedbu izmjenjivača čini znatno lakšom od ostalih. [23]



Slika 18. Detalj prikaza ravne cijevi s više usporednih mikrokanala [24]

Za potrebe ispitne stanice odabran je dimenzijama najveći mikrokanalni izmjenjivač topline kao proizvod „Climetal“ SINGLE FACE Ø32 TH25. Dimenzioniranje sustava provedeno je korištenjem programa „Climetal Microchannel Simulation“ proizvođača „Climetal Heat Exchangers“. Sustav je dimenzioniran za ulaznu temperaturu vode u izmjenjivač od 15 °C, i izlaznu temperaturu vode od 20 °C, dok je ulazna temperatura zraka u izmjenjivač postavljena na 40 °C. Protok zraka definiran je snagom ventilatora koji će se ugraditi iznad mikrokanalnih izmjenjivača topline i on iznosi 28000 m<sup>3</sup>/h po jednom izmjenjivaču. Unošenjem ulaznih podataka u program dobiveno je da ukupni kapacitet sustava iznosi 720 kW, za što je potrebno šest mikrokanalnih izmjenjivača topline te šest ventilatora.



Slika 19. Lamelni izmjenjivač topline s mikrokanalima kao proizvod „Climetal“ [24]

#### TEHNIČKI PODACI ODABRANOG IZMJENJIVAČA TOPLINE:

- „Climetal“ SINGLE FACE Ø32 TH25
  - Broj komada: 6
  - Kapacitet: 120 kW (  $\Delta\vartheta_{vode} = 5\text{ °C}$ ,  $\vartheta_{zraka} = 40\text{ °C}$ ,  $\dot{V}_{zraka} = 24000\text{ m}^3/\text{h}$ )
  - Ukupni instalirani kapacitet: 720 kW
  - Broj prolaza: 1
  - Unutarnja površina: 13,6 m<sup>2</sup>
  - Masa jedne baterije: 27,3 kg
  - Dimenzije: 1212 mm x 2150 mm

## 7.2. Ventilatori mikrokanalnih izmjenjivača topline

Korištenjem programa „FANselect“ [25] odabrani su ventilatori proizvođača „ZIHHEL-ABEGG“ ZN091-ZIL.GL.V5P1 (Slika 20.). Kao što je spomenuto u prethodnoj točki, za svaki izmjenjivač potreban je po jedan ventilator te je stoga potrebno šest ovakvih ventilatora. Radi se o aksijalnom ventilatoru nazivnog protoka zraka 28936 m<sup>3</sup>/h.



Slika 20. Ventilator kao proizvod „ZIHHEL-ABEGG“ ZN091-ZIL.GL.V5P1 [26]

### TEHNIČKI PODACI ODABRANOG VENTILATORA:

- „ZIHHEL-ABEGG“ ZN091-ZIL.GL.V5P1
  - Motor: ECblue
  - Mrežni napon: 3~ 400V 50Hz
  - Maksimalna temperatura zraka: 45 °C
  - Nazivni protok zraka: 28936 m<sup>3</sup>/h
  - Statički tlak: 122 Pa
  - Totalni tlak: 213 Pa
  - Ulazna snaga: 2472 W
  - Brzina vrtnje: 1100 min<sup>-1</sup>
  - Jakost struje: 3,79 A
  - Masa: 44,8 kg

### 7.3. Rashladnik vode

Obzirom da kod nove izvedbe ispitne stanice postoji potreba samo za hlađenjem spremnika, umjesto dizalice topline koristit će se rashladnik vode manjeg kapaciteta. Rashladnik vode je dimenzioniran za slučaj ispitivanja maksimalnog kapaciteta ispitivanog uređaja od 500 kW. To znači da je toplinski tok koji je potrebno odvoditi iz akumulacijskog spremnika približno jednak snazi kompresora ispitivanog uređaja i iznosi otprilike 150 kW. Stoga je prema katalog tvrtke „Frigo Plus“ [9] odabran rashladnik vode V-LINE AW HT R290 VM4-2-35 nazivnog kapaciteta 165 kW.

#### TEHNIČKI PODACI ODABRANOG RASHLADNIKA VODE:

- „Frigo Plus“ V-LINE AW HT R290 VM4-2-35
  - Tip kompresora: stapni kompresor
  - Broj kompresora: 2
  - Broj ventilatora: 4
  - Tip ventilatora: 800 EC
  - Priključak: DN 100
  - Dimenzije: 3510mm x 2190mm x 2315mm (L x W x H)
  - Masa: 2370 kg
  - Nazivni kapacitet: 164,16 kW
  - Ukupna ulazna snaga: 53,2 kW
  - EER: 3,09
  - ESEER: 3,75
  - Protok zraka: 82000 m<sup>3</sup>/h
  - Razina zvučne snage: 54 dB
  - Protok posrednog prijenosnika topline kroz isparivač: 28,19 m<sup>3</sup>/h
  - Pad tlaka u isparivaču: 4,64 m

## 7.4. Cjevovodi

Kod nove izvedbe, dimenzije cjevovoda od akumulacijskog spremnika do isparivača i kondenzatora ostaju jednake kao i u prethodnoj izvedbi. Stoga i sve ostale komponente (pumpe, troputni ventili i mjerači protoka) na ovim cjevovodima ostaju nepromijenjene. Jedina razlika je u dimenzijama cjevovoda od akumulacijskog spremnika vode do dodatnog rashladnika vode pa je u nastavku napravljen proračun dimenzija i pada tlaka ovog dijela cjevovoda.

### 7.4.1. Cjevovod od akumulacijskog spremnika do rashladnika vode

Cjevovodom od akumulacijskog spremnika do rashladnika vode cirkulira voda, koja se hladi s  $\vartheta_{rv1} = 12\text{ °C}$  na  $\vartheta_{rv2} = 7\text{ °C}$  te se ohlađena vraća u spremnik.

Ulazna temperatura vode u rashladnik vode:  $\vartheta_{rv1} = 12\text{ °C}$

Izlazna temperatura vode iz rashladnika vode:  $\vartheta_{rv2} = 7\text{ °C}$

Kapacitet rashladnika vode:  $\Phi_{rv} = 165\text{ kW}$

Specifični toplinski kapacitet vode:  $c_w = 4,2\text{ kJ/(kgK)}$

Gustoća vode:  $\rho_w = 1000\text{ kg/m}^3$

Volumni protok vode kroz rashladnik vode:  $\dot{V}_{rv} = 28,19\text{ m}^3/\text{h} \equiv 0,008\text{ m}^3/\text{s}$

Pretpostavljena brzina strujanja vode kroz cijevi:  $w = 1,5\text{ m/s}$

Potrebna površina poprečnog presjeka cijevi:

$$A_{rvpotr} = \frac{\dot{V}_{rv}}{w} = \frac{0,008}{1,5} = 0,005\text{ m}^2 \quad (44)$$

Potrebni promjer cijevi:

$$d_{rvpotr} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{rvpotr}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,005}{\pi}} = 0,08\text{ m} \equiv 80\text{ mm} \quad (45)$$

Odabrani nazivni promjer cijevi prema [11]: DN 100, Ø 114,3 x 3,6 mm, bešavna čelična cijev

Ovaj cjevovod manjeg je promjera je od cjevovoda korištenog u prethodnoj izvedbi, stoga će priključci na akumulacijskom spremniku vode biti izvedeni s nazivnim promjerom DN 100, a ne DN 150 koji je korišten u prethodnoj verziji.

Unutarnji promjer cijevi:  $d_{rv} = 107,1 \text{ mm} \equiv 0,1071 \text{ m}$

Stvarna brzina strujanja vode:

$$w = \frac{\dot{V}_{rv}}{A_{rv}} = \frac{\dot{V}_{rv}}{\frac{d_{rv}^2 \cdot \pi}{4}} = \frac{0,008}{\frac{0,1071^2 \cdot \pi}{4}} = 0,89 \text{ m/s} \quad (46)$$

Stvarna brzina strujanja vode u ovom cjevovodu unutar je preporučenih granica brzina strujanja.

#### 7.4.1.1. Proračun pada tlaka (akumulacijski spremnik vode – rashladnik vode)

Proračun pada tlaka napravljen je prema skripti Vladimira Koharićća, *Uvod u projektiranje cjevovoda* [12].

Ukupna duljina cjevovoda:  $L = 10 \text{ m}$

Unutarnji promjer cijevi:  $d = 0,1071 \text{ m}$

Kinematička viskoznost vode za  $10^\circ\text{C}$  prema [13]:  $\nu = 1,308 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Brzina strujanja vode:  $w = 0,89 \text{ m/s}$

Apsolutna hrapavost cijevi prema [10]:  $k = 0,045 \text{ mm}$

Reynoldsova značajka:

$$Re = \frac{d \cdot w}{\nu} = \frac{0,1071 \cdot 0,89}{1,308 \cdot 10^{-6}} = 72873,9 > 2320 \quad (47)$$

Obzirom da je Reynoldsova značajka veća od 2320, strujanje je turbulentno.

Relativna hrapavost:

$$\varepsilon = \frac{k}{d} = \frac{0,045}{107,1} = 0,00042 \quad (48)$$

Korištenjem izraza za turbulentno strujanje u prijelaznom području izračunat je koeficijent trenja:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log\left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,71}\right) \quad (49)$$

Iterativnim postupkom dobiveno je:  $\lambda = 0,021$

Pad tlaka uslijed trenja:

$$\Delta p_{tr} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho_w \cdot w^2}{2} = 0,021 \cdot \frac{10}{0,1071} \cdot \frac{1000 \cdot 0,89^2}{2} = 776,6 \text{ Pa} \quad (50)$$

Maksimalni pad tlaka u isparivaču rashladnika vode prema katalogu tvrtke „Frigo Plus“ [9]:

$$\Delta p_{rv} = 45491,2 \text{ Pa} \quad (51)$$

Ostali padovi tlaka ovog kruga zanemarivi su u odnosu na pad tlaka u rashladniku vode te stoga ukupni pad tlaka iznosi:

$$\Delta p_{uk} = \Delta p_{tr} + \Delta p_{rv} = 813 + 45491,2 = 46304,2 \text{ Pa} \quad (52)$$

### 7.5. Cirkulacijska pumpa za krug rashladnika vode

U ovom krugu pumpa ima zadaću svladati sve lokalne padove tlaka te pad tlaka uslijed trenja u cjevovodu od akumulacijskog spremnika do rashladnika vode. Najveći udio ukupnog pada tlaka odnosi se na pad tlaka u isparivaču. Korištenjem programa *Grundfos product selection* [15] odabrana je pumpa „GRUNDFOS“ TP 100-60/4 AI-F-A-BUBE.

#### ULAZNI PODACI:

- volumni protok vode:  $\dot{V}_{rv} = 0,008 \text{ m}^3/\text{s} \equiv 28,19 \text{ m}^3/\text{h}$
- ukupni pad tlaka:  $\Delta p_{uk} = 46304,2 \text{ Pa}$

#### ODABRANA PUMPA:

- „GRUNDFOS“ TP 100-60/4 AI-F-A-BUBE
  - Nazivna snaga: 1,1 kW
  - Nazivni protok: 28,2 m<sup>3</sup>/h
  - Brzina vrtnje: 1450-1460 rpm
  - Nazivni napon: 3 x 220-240D/380-415Y V
  - Cijevni priključak: DN 100
  - Ugradbena duljina: 450 mm



## 8. ZAKLJUČAK

U radu su prema normi HRN EN 14511:2013 dimenzionirane dvije izvedbe mjernih stanica za ispitivanje radnih karakteristika rashladnika kapljevine sa zrakom hlađenim kondenzatorom i vodom hlađenim kondenzatorom kapaciteta od 50 do 500 kW. Ispitna stanica funkcionira na način da se rashladnik kapljevine priključi na akumulacijski spremnik vode te se pomoću pumpi i troputnih ventila uspostavljaju traženi protoci i temperaturni režimi na isparivaču i kondenzatoru. Zbog vrlo velikih protoka zraka kroz kondenzator, koji mogu iznositi i do  $110 \text{ m}^3/\text{s}$ , najveći problem sustava predstavlja regulacija ulazne temperature zraka u zrakom hlađeni rashladni uređaj. U prvoj verziji ispitne stanice ovaj problem riješen je postavljanjem automatski reguliranih žaluzina, koje se ovisno o temperaturi okoliša i temperaturi u prostoriji otvaraju ili zatvaraju te se miješanjem vanjskog i unutarnjeg zraka ostvaruje željena temperatura na ulazu u kondenzator. Kod druge izvedbe, problem regulacije ulazne temperature zraka u kondenzator riješen je ugradnjom visokoučinkovitih mikrokanalnih izmjenjivača zrak – voda u ispitnu prostoriju. Ovi izmjenjivači spojeni su na akumulacijski spremnik vode te imaju ulogu hlađenja zraka u prostoriji na željenu temperaturu. Prednost druge izvedbe u odnosu na prvu je smanjenje pogonskih troškova sustava zbog iskorištavanja kompletne topline kondenzacije ispitivanog rashladnog uređaja, koja se kod ispitne stanice prve verzije predaje okolišnjem zraku.

Razvoj ispitnog laboratorija je proces koji između ostalog zahtjeva predan timski rad. Daljnji napredak i razvoj postojećih ideja ispitne stanice za rashladnike kapljevine, te realizacija tehnoeekonomski najprihvatljivije izvedbe, planira se nastaviti u okruženju proizvođača rashladnih uređaja.

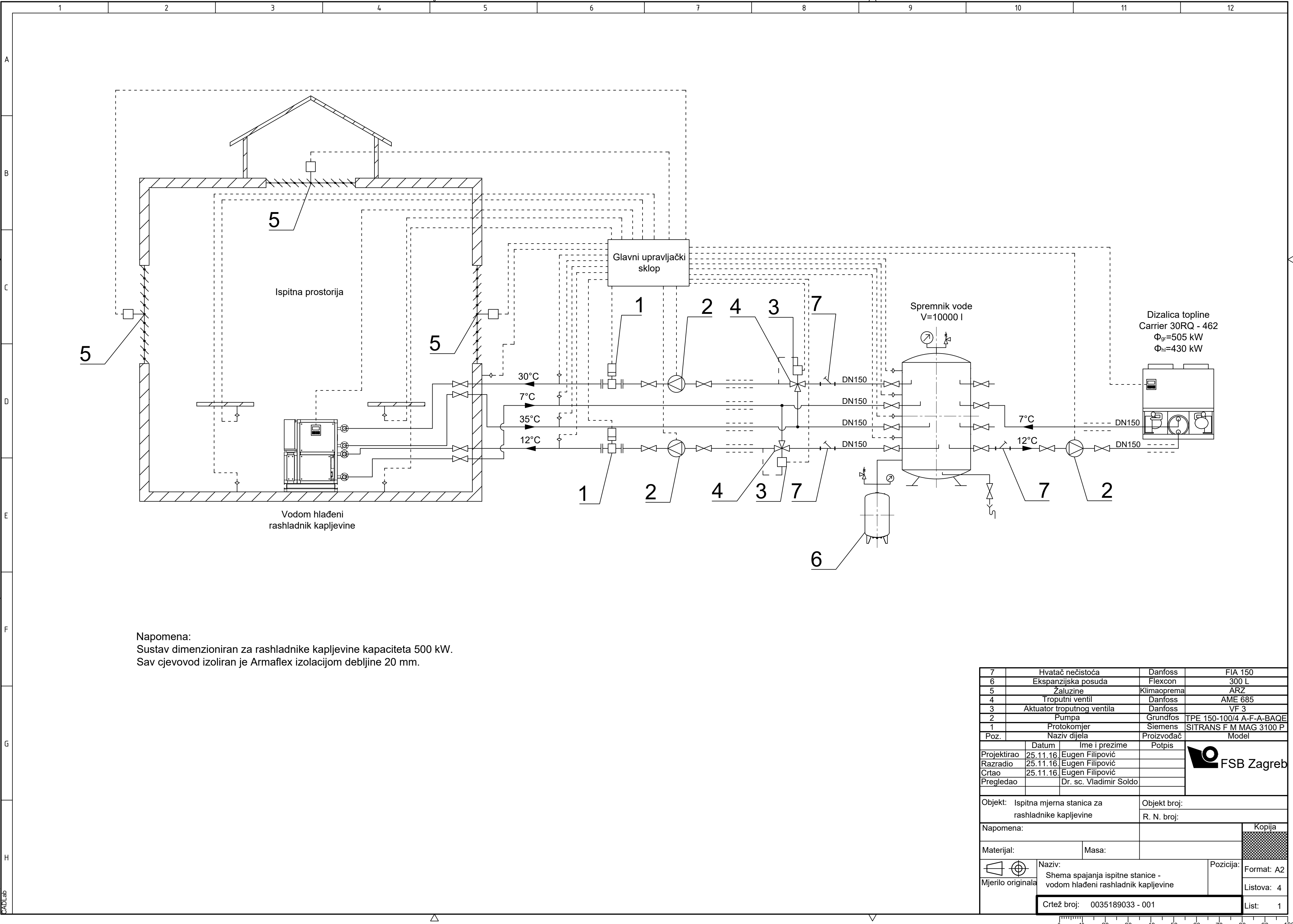
## LITERATURA

- [1] Pavković B.: *Podloge za predavanje, Tehnika hlađenja*, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci
- [2] Hanžek T.: *Projekt rashladnika vode*, Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 2009.
- [3] Soldo V., Čurko T.: *Podloge za predavanje, Hlađenje i dizalice topline*, Zagreb, 2011.
- [4] <http://test.frigo-plus.hr/hrvatski/rashladnici-vode-----chilleri- 55/>
- [5] [http://img.archiexpo.com/images\\_ae/photo-g/49317-1533329.jpg](http://img.archiexpo.com/images_ae/photo-g/49317-1533329.jpg)
- [6] *Priručnik za energetska certificiranje zgrada*, Program Ujedinjenih naroda za razvoj-UNDP, Tiskara Zelina, 2010.
- [7] Hrvatska norma HRN EN 14511: *Klimatizacijski uređaji, rashladnici kapljevina i dizalice topline s kompresorima na električni pogon za grijanje i hlađenje prostora*, 2013.
- [8] *Chiller performance testing program*, katalog tvrtke „Trane“, 2010.
- [9] *Air/water and water/water propane chillers*, katalog tvrtke „Frigo Plus“, 2016.
- [10] Balen I.: *Grijanje*, Podloge uz predavanje
- [11] Kraut B.: *Krautov strojarski priručnik*, Sajema d.o.o., Zagreb, 2009.
- [12] Koharić V.: *Uvod u projektiranje cjevovoda*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1986.
- [13] Halasz B., Galović A., Boras I.: *Toplinske tablice*, Zagreb, 2007.
- [14] *Air to Water Heat Pumps with Integrated Hydronic Module*, katalog tvrtke „Carrier“, 2009.
- [15] <https://product-selection.grundfos.com>
- [16] [https://net.grundfos.com/RestServer/imaging/product?productnumber=95046212&frequency=50&languagecode=HRV&productrange=GMA&searchdomain=SALEABLE&unitsystem=4&UC.mH=UC\\_kPa&UC.m3/h=UC\\_m3/h&w=1034&h=611](https://net.grundfos.com/RestServer/imaging/product?productnumber=95046212&frequency=50&languagecode=HRV&productrange=GMA&searchdomain=SALEABLE&unitsystem=4&UC.mH=UC_kPa&UC.m3/h=UC_m3/h&w=1034&h=611)
- [17] <https://www.pia-portal.automation.siemens.com/default.htm>
- [18] *Field Instruments for Proces Automation*, katalog tvrtke „Siemens“, 2016.
- [19] <http://products.danfoss.com/productrange/list/heatingsolutions/control-valves/seated-valves/valves-for-terminal-zone/3-way-valves-for-heating-cooling-applications/vf-3-/#/>
- [20] <http://products.danfoss.hr/productdetail/heatingsolutions/elektromotorni-ventili/pogoni-za-regulacijske-ventile/daljinsko-grejanje/ame-685/082g3500/#/>

- [21] *An unbeatable combination with unique flexibility for your cooling applications*, katalog tvrtke „Danfoss“, 2015.
- [22] [http://www.klimaoprema.hr/hr/hvac/proizvodi/regulatori-protoka-zaluzine-zaklopke/zaluzine-fz-afzv-afzm-rz-arz-pz-zp/5\\_arz/#main](http://www.klimaoprema.hr/hr/hvac/proizvodi/regulatori-protoka-zaluzine-zaklopke/zaluzine-fz-afzv-afzm-rz-arz-pz-zp/5_arz/#main)
- [23] Gažar V.: *Optimizacija geometrije kompaktnih izmjenjivača topline*, Doktorska disertacija, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2011.
- [24] <http://climetal.com/galeria-page>
- [25] <http://www.fanselect.net/>
- [26] <http://www.ziehl-abegg.com/us/en/product-range/ventilation-systems/axial-fans/zaplus/>

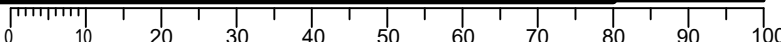
**PRILOZI****I. Tehnička dokumentacija**

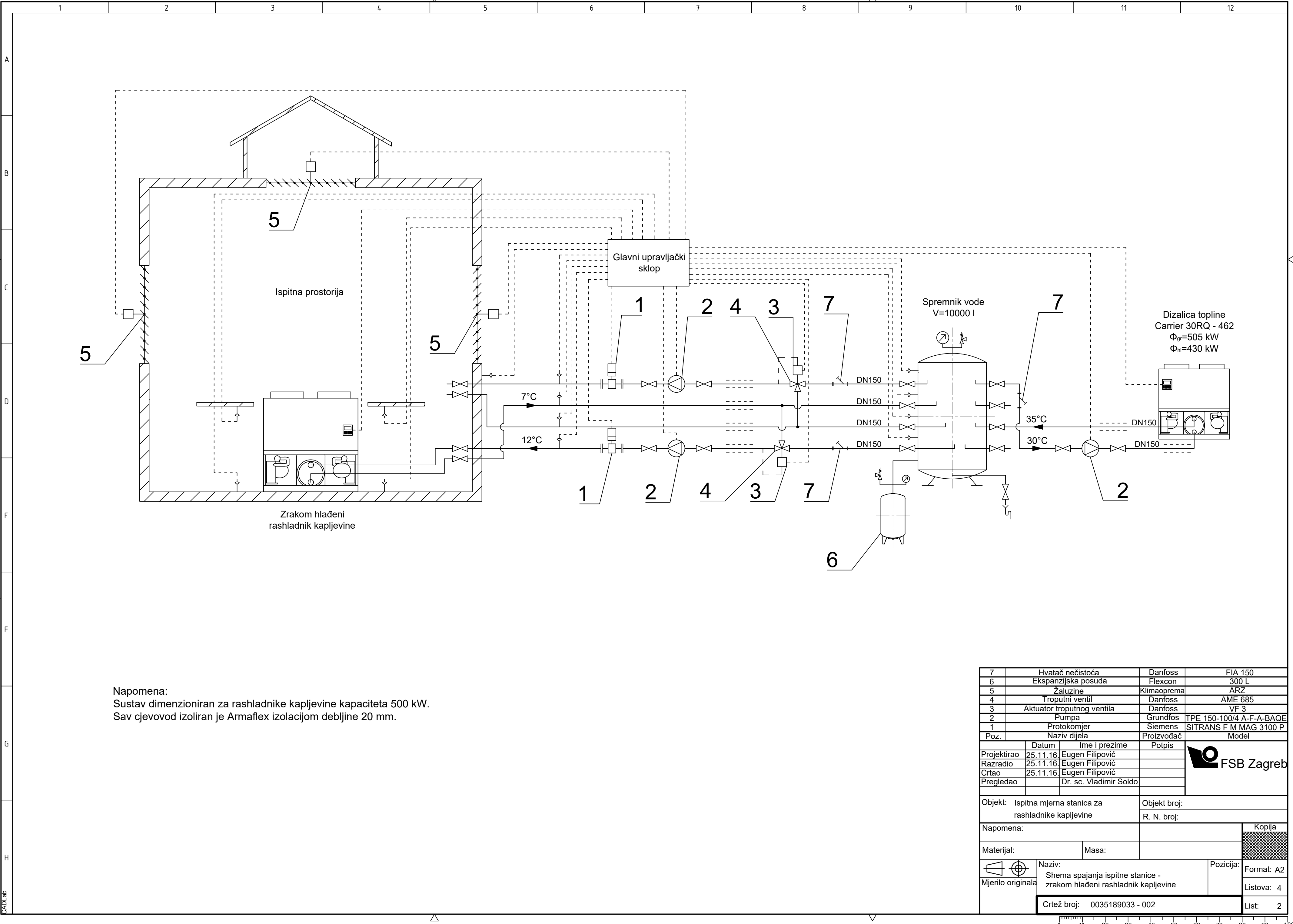
- |                  |  |
|------------------|--|
| 0035189033 – 001 | Shema spajanja ispitnog sustava – zrakom hlađeni rashladnik kapljevine |
| 0035189033 – 002 | Shema spajanja ispitnog sustava – vodom hlađeni rashladnik kapljevine  |
| 0035189033 – 003 | Dispozicijski crtež ispitne stanice                                    |



Napomena:  
Sustav dimenzioniran za rashladnike kapljevine kapaciteta 500 kW.  
Sav cjevovod izoliran je Armaflex izolacijom debljine 20 mm.

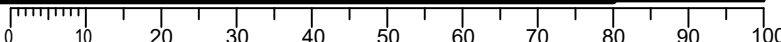
7	Hvatač nečistoća		Danfoss	FIA 150
6	Ekspanzijska posuda		Flexcon	300 L
5	Žaluzine		Klimaoprema	ARZ
4	Troputni ventil		Danfoss	AME 685
3	Aktuator troputnog ventila		Danfoss	VF 3
2	Pumpa		Grundfos	TPE 150-100/4 A-F-A-BAQE
1	Protokomjer		Siemens	SITRANS F M MAG 3100 P
Poz.	Naziv dijela		Proizvođač	Model
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	25.11.16.	Eugen Filipović		
Razradio	25.11.16.	Eugen Filipović		
Crtao	25.11.16.	Eugen Filipović		
Pregledao		Dr. sc. Vladimir Soldo		
Objekt: Ispitna mjerna stanica za rashladnike kapljevine			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:			Kopija	
Materijal:			Masa:	
	Naziv:		Pozicija:	Format: A2
Mjerilo originala	Schema spajanja ispitne stanice - vodom hlađeni rashladnik kapljevine			Listova: 4
Crtež broj: 0035189033 - 001				List: 1

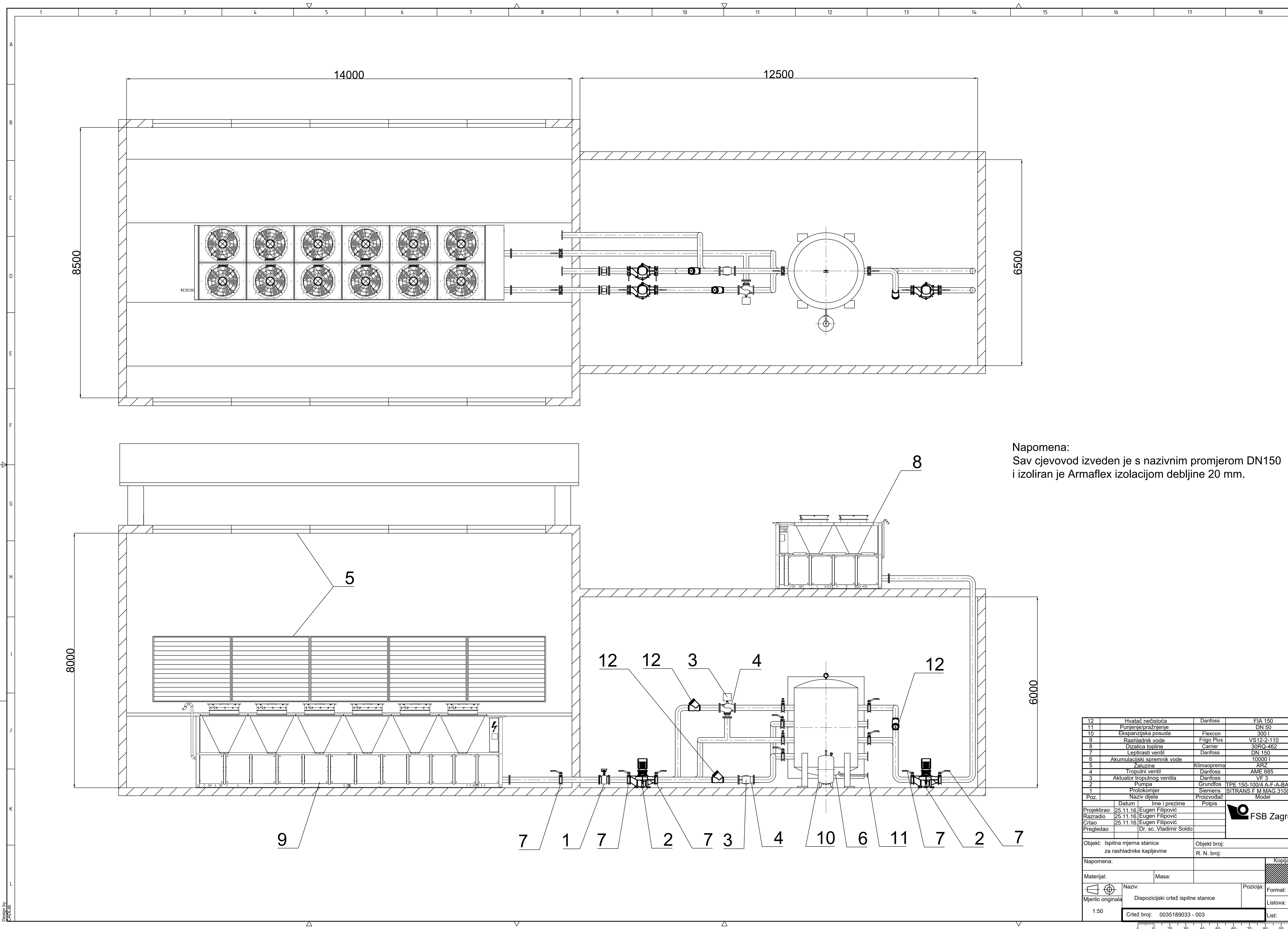




Napomena:  
Sustav dimenzioniran za rashladnike kapljevine kapaciteta 500 kW.  
Sav cjevovod izoliran je Armaflex izolacijom debljine 20 mm.

7	Hvatač nečistoća		Danfoss	FIA 150
6	Ekspanzijska posuda		Flexcon	300 L
5	Žaluzine		Klimaoprema	ARZ
4	Troputni ventil		Danfoss	AME 685
3	Aktuator troputnog ventila		Danfoss	VF 3
2	Pumpa		Grundfos	TPE 150-100/4 A-F-A-BAQE
1	Protokomjer		Siemens	SITRANS F M MAG 3100 P
Poz.	Naziv dijela		Proizvođač	Model
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	25.11.16.	Eugen Filipović		
Razradio	25.11.16.	Eugen Filipović		
Crtao	25.11.16.	Eugen Filipović		
Pregledao		Dr. sc. Vladimir Soldo		
Objekt: Ispitna mjerna stanica za rashladnike kapljevine			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:			Kopija	
Materijal:			Masa:	
	Naziv:		Pozicija:	Format: A2
Mjerilo originala	Schema spajanja ispitne stanice - zrakom hlađeni rashladnik kapljevine			Listova: 4
Crtež broj: 0035189033 - 002				List: 2





Napomena:  
Sav cjevovod izveden je s nazivnim promjerom DN150  
i izoliran je Armaflex izolacijom debljine 20 mm.

12	Hvatač nečistoća	Danfoss	FIA 150
11	Punjenje/pražnjenje		DN 50
10	Ekspanzijska posuda	Flexcon	300 l
9	Rashladnik vode	Frigo Plus	VS12-2-110
8	Dizalica topline	Carrier	30RQ-462
7	Leptirasti ventil	Danfoss	DN 150
6	Akumulatorski spremnik vode		10000 l
5	Zaluzine	Klimaoprema	ARZ
4	Troputni ventil	Danfoss	AME 685
3	Aktuator troputnog ventila	Danfoss	VF 3
2	Pumpa	Grundfos	TPE 150-100/4 A-F-A-BAQE
1	Protokomjer	Siemens	SITRANS F M MAG 3100 P
Poz.	Naziv dijela	Proizvođač	Model
	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	25.11.16. Eugen Filipović		
Razradio	25.11.16. Eugen Filipović		
Crtao	25.11.16. Eugen Filipović		
Pregledao	Dr. sc. Vladimir Soldo		



Objekt: Ispitna mjerna stanica  
za rashladnike kapljevine

Objekt broj:  
R. N. broj:

Napomena:

Materijal:

Masa:

Naziv:

Pozicija:

Format: A1

Mjerilo originala

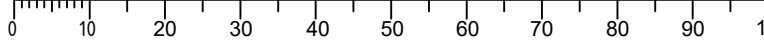
Dispozicijski crtež ispitne stanice

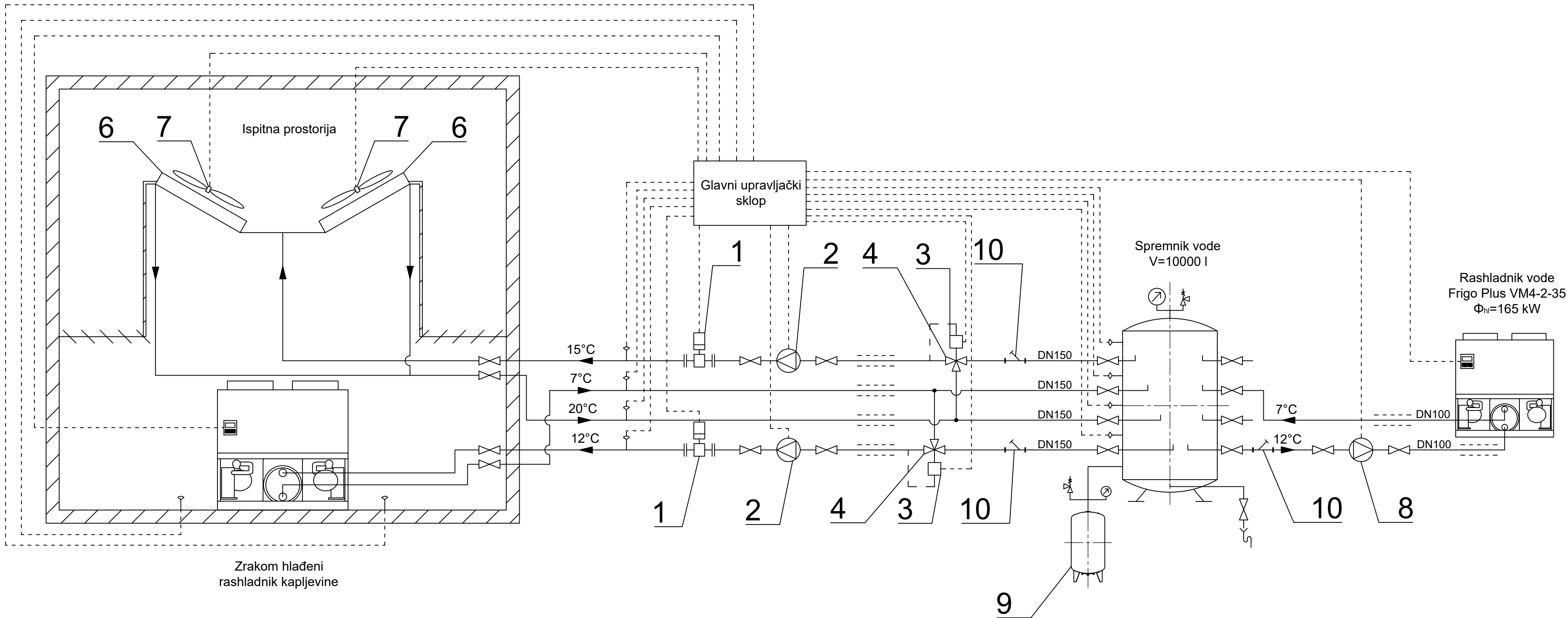
Listova: 4

1:50

Crtež broj: 0035189033 - 003

List: 3





Napomena:  
Sustav dimenzioniran za rashladnike kapljevine kapaciteta 500 kW.  
Sav cjevovod izoliran je Armaflex izolacijom debljine 20 mm.

10	Hvatač nečistoća	Danfoss	FIA 150
9	Ekspanzijska posuda	Flexcon	300 L
8	Pumpa	Grundfos	TP 100-60/4 AI-F-A-BUBE
7	Ventilator	ZIHEL-ABEGG	ZN091-ZIL_GL.V5P1
6	Mikrokanalni izmjenivač topline	Climetal	SINGLE PHASE Ø32 TH25
5	Žaluzine	Klimaoprema	ARZ
4	Troputni ventil	Danfoss	AME 685
3	Aktuator troputnog ventila	Danfoss	VF 3
2	Pumpa	Grundfos	TPE 150-100/4 A-F-A-BAQE
1	Protokomjer	Siemens	SITRANS F M MAG 3100 P
Poz.	Naziv dijela	Proizvođač	Model
	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	25.11.16.	Eugen Filipović	
Razradio	25.11.16.	Eugen Filipović	
Crtao	25.11.16.	Eugen Filipović	
Pregledao		Dr. sc. Vladimir Soldo	
Objekt: Ispitna mjerna stanica za rashladnike kapljevine (verzija 2)		Objekt broj:	
Napomena:		R. N. broj:	
Materijal:		Masa:	
Mjerilo originala		Naziv: Shema spajanja ispitne stanice - zrakom hlađeni rashladnik kapljevine (verzija 2)	
		Pozicija: Format: A2	
		Listova: 4	
		Crtež broj: 0035189033 - 004	
		List: 4	

